DR. J. VAN DIGGELEN

van raket tot ruimtevaart



DR. J. VAN DIGGELEN

VAN RAKET TOT RUIMTEVAART

4 oktober 1957 kan gerekend worden tot één van de grote data uit de geschiedenis der mensheid. Op deze dag slaagden de Russen erin een kunstmaan in een baan om de aarde te brengen en werd het tijdperk van ruimtevaart ingeluid.
In dit boek beschrijft Dr. J. van Diggelen de snelle ontwikkeling van deze nieuwe techniek, die via diverse verschillend gerichte technische projecten in de richting groeide van de bemande ruimtevaart. Daarbij zal ieder, die dit alles heeft gevolgd, zich dikwijls hebben afgevraagd wat de wetenschap – in het bijzonder sterrenkunde en geofysica – met behulp van deze nieuwe en kostbare experimenten heeft bereikt. Iedere nieuwe tocht en ieder nieuw project vult wel dagbladen en tijdschriften, maar de echte wetenschappelijke vondsten staan meestal verscholen in vakbladen en worden dikwijls eerst na jaren van onderzoek en uitwerking gepubliceerd. Maar juist deze laten de enorme vooruitgang in kennis zien, die de kunstmanen en ruimtecapsules ons brachten. Eerst in de laatste tien jaar zijn de dampkring haar geheimen ontfutseld, werden onbekende stralingsgordels ontdekt en heeft de maan – onze naaste buur – in tien jaar meer van haar raadsels prijsgegeven dan in tien eeuwen daarvoor. Het zijn al deze wetenschappelijke onderzoekingen en ontdekkingen, die Dr. van Diggelen in dit boek voor de 'general reader' beschrijft, waarna hij besluit met een blik in de toekomst, die o.m. tochten naar de werelden van Jupiter en Saturnus te zien zal geven.

van raket tot ruimtevaart

DR. J. VAN DIGGELEN

van raket tot ruimtevaart

MCMLXVII
G. J. A. RUYS - AMSTERDAM

inhoud

WOORD VOORAF XI

I OUDE DROMEN WORDEN WERKELIJKHEID 1

Sagen uit de Oudheid – Galilei en Columbus – De droom van Kepler – De eerste mens verlaat de aarde – Vliegtuigen, maar geen ruimtevaart – De pioniers van de raket – De oorlog verschaft de hulpmiddelen – White Sands Proving Grounds – Het onderzoek van de lagere atmosfeer – Plannen voor een kunstmaan – Dit is echte ruimtevaart – Een historische datum – Tien jaren van vooruitgang – Mee op ontdekking nu en in de toekomst.

II DE VUURPIJL WORDT RUIMTESCHIP 9

Voortstuwing in het luchtledige – Aktie is reaktie – De werking van de raketmotor – De vuurpijl met vaste brandstoffen – De ontsnappingssnelheid – Het verband tussen snelheid en massa – Gevaarlijke brandstoffen – De noodzakelijkheid van meer dan één trap – De aardrotatie kan meehelpen – De nuttige lading is klein – Een kunstmaan als ruimtestation – Ieder ruimteschip is een hemellichaam.

III ZWEVEN IN HET HEELAL 20

Ons zonnestelsel – Zon, planeten, satellieten – Kometen en meteoroïden – Waarom een kunstmaan vanzelf om de aarde draait – De wet van Newton – Het zwaartekrachtsveld van aarde, maan en zon – Drie soorten banen – De wetten van Kepler – De Hohmann-ellips – Een tocht naar Venus als voorbeeld – Parkeerbanen zijn nodig – Tochten naar de maan – Banen per rekenmachine – Baankorrekties in de praktijk.

IV EEN MUUR VAN LUCHT 31

De aardse dampkring – Samenstelling aan de grond – De bouw van de atmosfeer – Een beschermende deken – Onzichtbare stralingen – Het spektrum van het licht – Absorptie en extinktie – Vallende sterren en hun lot – De eerste resultaten van de V 2 raketten – Seizoeninvloeden op grote hoogte – De ionosfeer – Onbekende dingen op onbereikbare hoogten – De ionisatie van stikstof en zuurstof – Het poollicht – Tot hoever reikt de dampkring? – De geheimen van de exosfeer – Tot hoever reikt de zon? – Leven op de zon – Zonnestoringen en vlammen – Magnetische stormen – De elfjarige periode – Zon en aarde.

V SPOETNIKS VERRASSEN DE WERELD 45

De Russen kregen een erfenis – De eerste Spoetnik – Ook de raket draaide om de aarde – De wrijving van de lucht – De baan verandert – Het uiteindelijke lot van een kunstmaan – De hond Laika was de eerste ruimtereiziger – De eerste wetenschappelijke resultaten – Hoe vindt men de dichtheid van de atmosfeer? – Het einde van Spoetnik 2 – Sterke invloed van de zon op de atmosfeer ontdekt – Zonnevlammen storen Spoetnik 3 – Het probleem van de veilige terugkeer naar de aarde – De eerste landing faalde – Twee hondjes keren per parachute terug – De eerste slachtoffers – Venusverkenning mislukt – Het probleem van de terugkeer schijnt opgelost.

VI EEN SCHUCHTER AMERIKAANS BEGIN 59

De Vanguard-debâcle – Vertraging door rivaliteit – Von Braun kreeg zijn kans – De eerste Amerikaanse kunstmaan – Het probleem van de stralingsmetingen – Een Vanguard zonder veel instrumenten – De eerste weersatelliet – Vanguard 3 onderzocht het aardmagneetveld – Op jacht naar meteoroïden – Zonder bijsturen naar de maan – Meer dan 100 000 km hoog! – De mislukte pioniers – Geen maanfoto's, wel stralingsmetingen – Geen stralings- maar deeltjesgordels – De bouw van Van Allen-gordels – Kunstmatige gordels door kernexplosies – Spiralerende gevangen deeltjes – Explorers verfijnen het beeld.

VII RUSSISCHE MAANEXPEDITIES OP WEG 68

De eerste kunstplaneet – Bijna de maan geraakt – Landing in Mare Imbrium – Magneetvelden in de ruimte – Het kompas weigert op de maan – Zeeën en bergen op de maan – Kraters met stralen – De onbekende achterkant – Gissingen uit het verleden – Loena 3 verkent onbekende streken – Sovjet-geleerden analyseren – De Zee van Moskou en de Sovjetbergen – Een lange reeks pechvogels – Nieuwe foto's van de achterkant – Zachte landingen zijn niet eenvoudig – Loena 9 heeft succes – Jodrell Bank pikt een Russische primeur weg – Polarisatie van het maanlicht – De fotometrie komt tot andere resultaten – Het probleem van de maanbodem – Warmtegeleiding en draagkracht – Loena's cirkelen om de maan.

VIII VOORBEREIDING VOOR BEMANDE RUIMTEVAART 86

Kerstboodschap uit de ruimte – Het projekt-Score – Ook de Amerikanen worstelen met terugkeerproblemen – Retroraketten werken pas na stabilisatie – Van NACA tot NASA – De luchtmacht lanceert vanuit Californië – Het projekt-Discoverer – Bijzonderheden van polaire banen – Kapsule verdwijnt bij Spitsbergen in de Oceaan – De onbekende satelliet –Discoverer 5 was de oorzaak – Pas 13 was een geluksgetal – Daling in een geïoniseerde wolk – Een C 119 ont-

dekt de kapsule – Lichtflitsen in de ruimte – Discoverer 14 werd in de lucht opgevangen – Onderzoek naar stralingsgevaar – Biologische preparaten vormden een begin – Een lange reeks Discoverers – Straling van een zonnevlam – Tritium gevonden – Het projekt-Midas – Het Westford-plan – Radioamateurs krijgen een kans – Een ruimtelaboratorium op komst.

IX KUNSTMANEN VOOR NAVIGATIE EN KOMMUNIKATIE 99

De weg vinden met de sterren – Hoe bepaalt men zijn positie op aarde? – Verandert de afstand der kontinenten? – Kunstmanen als bakens – Vanguard 1 was de eerste geodetische satelliet – Het projekt-Transit – Plaatsbepaling met radioseinen – Het beginsel van Doppler – Hoe men de rotatie van een kunstmaan verandert – Kristallen kontroleren een zender – De Greb werkte niet geheel volgens plan – De eerste kernreaktor in de ruimte – Ook het aardmagneetveld kan rotatie stoppen – De evenaar is geen cirkel – Het projekt-Anna – Flitslichten van acht miljoen kaars – Courier 1 B de eerste kunstmaan voor radiotransmissie – Een reus in een fles – Metingen van de atmosfeer tot op grote hoogte – De tweede Echo – De Pageos, een nieuwe meetsatelliet in de ruimte – Geos 1 – De grootte van de aarde – Telstar verbindt de kontinenten – Het projekt-Relay – Syncom 1 zweeg plotseling – Banen in de vorm van een acht – Molniya 1 – Intelsat en Comsat – Early Bird en Lani Bird.

X KUNSTMANEN VAN VELERLEI SOORT 117

Kunstmanen in dienst van de meteorologie – Tiros bespiedt de aarde – Wolkenfoto's bij duizenden – Het APT-systeem – Nimbus in aktie – Geen spektakulaire vooruitgang voor de weervoorspelling? – Peilingen van de ionosfeer – De Alouette meet – Het veelomvattende projekt Explorer – De samenstelling van de dampkring – Waterstof en helium op grote hoogte – Kunstmanen bij honderden – Ook Europa wil een kunstmaan – Engeland blijft de USA trouw – Het projekt-Ariël – Italië is al in aktie – Franse plannen worden werkelijkheid – Ook Japan doet mee – Snelle bewegingen in de ionosfeer – Kunstmatige meteoren – Een Nederlandse bijdrage – Meteoorsporen kunstmatig gemaakt.

XI PIONIERS IN DE RUIMTE 137

Yuri Gagarin opent de rij – Het projekt-Vostok – De eerste reis om de aarde in negentig minuten – Titov ging 17 keer rond – Het Mercury-projekt ging van stapel – Proeven met chimpansees – Shepard verkende de ruimte – Een pronkstuk van de Amerikaanse industrie – MR-4 – De Atlas vervangt de Redstone – De aap Enos ging op proef – De historische tocht van John Glenn – Moeilijkheden met het hitteschild – Geheimzinnige vuurvliegjes – De verdere tochten met de Mercury's – Ook drinken is een probleem – Een geestelijke barrière

voor de mens? – Nikolayev maakte 64 rondjes – Hoe de Russen landden – De eerste vrouw in de ruimte – Geen echte rendez-vous tochten – De Voskhod had drie bemanningsleden – Leonov was de eerste ruimtewandelaar – Landing in de sneeuw – Het projekt-Gemini – Enteren in de ruimte – De eerste Gemini-vlucht – Ook White wandelde rond – Mislukt rendez-vous – Brandstofcellen en energieproblemen – Gemini 5 bleef zelfs 190 uur in de ruimte – Pech met de Gemini 6 – Twee Gemini's tegelijk in de ruimte – Nieuwe navigatiemethoden – De eerste entering volbracht – Gemini 8 leek een tol – Moeilijkheden met het ruimtepak van Cernan – Het licht van de nachthemel – Foto's van de sterren uit de Gemini 9 – Geen absorberende laag? – Gemini 10 maakt ultraviolette sterspektra – Conrad en Gordon bereiken 1367 km hoogte – Gorden bond ruimteschepen samen – Een moersleutel van een miljoen dollar – Een perfekt besluit met de Gemini 12 – Het eerste slachtoffer.

XII HET HEELAL IS NIET LEEG 159

Deeltjes en golven – Straling uit de kosmos – Het begon met ballonnen – Verkenning met de V 2 – De cislunaire ruimte – Explorers komen in aktie – IMP 1 meet de inhoud van een 'leeg' gebied – Schokgolven in de interplanetaire ruimte – Magnetische velden in het heelal – Kunstmanen meten de zonnewind – Tellingen van kosmische straling – Het onderzoek van de primaire kosmische straling – Deuterium problemen – Foto's van boven de dampkring – Het ultraviolette spektrum van de zon – OSO's onderzoeken de zon – De elektrons en protons – Röntgenfoto's van de zon – Het projekt-OAO – Geheimen van de hemel – Gruis om de aarde – Reuzenschepnetten vissen naar meteoroïden – Onderzoek van de vangst – Geodetische satellieten.

XIII VENUS BERGT NOG VELE RAADSELEN 181

Venus de morgen- of de avondster – Feiten en raadsels rond Venus – Wolken of oppervlaktedetails? – De aswenteling van Venus – De samenstelling van de dampkring – De aard van de bewolking – Polarisatie – Temperatuurmetingen en hun problemen – Modellen van de Venus-atmosfeer – De eerste Venusverkenners – De Mariner 2 – De tocht door het zonnestelsel – De massa van Venus – Het juiste atmosferische model – Magneetvelden bij Venus – De eerste landing op Venus – Nieuwe tochten in 1967.

XIV KRATERS OP MARS 199

De planeet met de kanalen – Kaarten van Mars – Een wereld als de onze? – Een planeet met sneeuw of ijs – De poolkap smelt – Er is ook een dampkring – Het projekt-Stratoskoop – Wolken op Mars – Plantengroei buiten de aarde? – Woestijnen van ijzererts – De tocht van de Mariner 4 – Seinen over verre afstanden – Mars van dichtbij – Kraters op het Marsoppervlak – Besneeuwde bergen – Mariner deed meer dan alleen fotograferen – Nieuws van Mars.

XV De maanreis is lang voorbereid 213

Eens Cape Canaveral, nu Cape Kennedy – Reusachtige lanceerkomplexen – Plannen voor de maanraketten – De proeven met de Saturnus – Ook waterstof blijkt bruikbaar – Het Centaur-projekt – Hoe men zich de reis naar de maan voorstelt – Het projekt-Apollo – De LEM moet op de maan landen – De Saturnus V – Het grootste gebouw ter wereld – Kunstmanen en maanreizen eisen volgstations – Op jacht naar Spoetniks – De Baker-Nunn-kamera's – Volgstations met grote instrumenten – Russische plannen of niet?

XVI Wij grijpen naar de maan 231

De landing op de maan – De maan is 5× Australië – Maankraters en hun geheimen – Het ontstaan der maanbergen – Kaarten sinds vier eeuwen – Moderne fotografische atlassen – De Air Force kaart – Inslagkraters op aarde en maan – Een landschap uit de prehistorie – Het projekt-Ranger – Hoe moeilijk de weg was – Eindelijk sukses – De maan van dichtbij – Ranger 8 ziet spleten en kloven – Alphonsus verkend door Ranger 9 – Wat de Rangers ons vertelden – Vulkanen of inslagkraters – Een karstlandschap op de maan – Landingen worden een feit – De geslaagde Surveyors – Foto's op de maan genomen – Lunar Orbiters fotograferen de maanwereld – Op zoek naar landingsplaatsen – Graafwerk op de maan.

XVII De komende tien jaar 248

Wat doen wij op de maan – Exploratie van een nieuwe wereld – Geologisch onderzoek van de maan – Op zoek naar maanbevingen – Hoe is het maanoppervlak ontstaan – Tijdperken van de maangeschiedenis – De eerste tocht over de maan – Verblijfplaatsen voor maankolonisten – Het hitteprobleem – Voedsel en zuurstof – Wanneer gaan we naar Mars? – Het projekt-Voyager – Op zoek naar leven op Mars – Parachutelandingen op de rode planeet – Een kongres over de reis naar Mars – Schattingen die reuzenraketten eisen – Elektrische voortstuwingsmogelijkheden – Ionenmotoren – Het projekt-Sert – Is kernenergie niet bruikbaar? – De proeven met de Kiwi – Ook naar Jupiter – Nieuwe manieren om stroom te produceren – De Snap wordt beproefd – Antares en Aldebaran – De grenzen van het zonnestelsel wenken – Een reis naar de sterren vergt honderdduizenden jaren – Fotonenraketten een droom van de toekomst? – Gaan wij bevroren naar de sterren? – Fantasie en werkelijkheid.

Literatuurlijst 263

Register 265

woord vooraf

Najaar 1967 zal een eerste decennium van tien jaar experimenteren met raketten, kunstmanen en ruimtesondes worden afgesloten. Vele miljarden zijn uitgegeven aan gigantische wetenschappelijke projekten. De V 2 uit de laatste oorlog bood de mogelijkheid om grote hoogten te bereiken. Tot ieders verrassing bleken de Russische onderzoekers dit snel en volledig te hebben uitgebuit. Zij lieten de eerste Spoetnik om de aarde cirkelen. Het tijdperk van kunstmanen en ruimtetochten was begonnen.

Velen hebben de afgelopen jaren meegeleefd met de snelle ontwikkeling van deze nieuwe techniek. Langzaam veranderde zij van aspekt. Van zuiver instrumenteel wetenschappelijk onderzoek groeide zij in de richting van bemande ruimtevaart. Spoedig zullen wij worden gekonfronteerd met reizen door mensen naar de maan en de planeten. Het is begrijpelijk, dat ieder die deze ontwikkeling volgt, zich dikwijls afvraagt, wat de wetenschap en in het bijzonder de sterrekunde en de geofysika met behulp van deze nieuwe zo kostbare methoden van proefnemingen heeft bereikt. Iedere nieuwe tocht en ieder nieuw projekt vult dagbladen en tijdschriften. De uiteindelijke resultaten staan vaak verscholen in vakbladen en worden soms pas na jaren uitwerken gepubliceerd. Het is daarom juist voor de vele belangstellenden waardevol een boek uit te geven, waarin zij iets van die resultaten vinden samengebundeld.

Het is onmogelijk zelfs in een boek van deze omvang een volledig overzicht te geven van alles wat die tien jaar ruimteonderzoek heeft opgeleverd. Ook is het niet mogelijk alle lanceringen en alle projekten te bespreken en in de tabellen is dan ook niet naar volledigheid gestreefd. Ondanks deze gedwongen beperking hebben wij getracht de belangrijkste resultaten te vermelden. Voor die lezers die onvoldoende kennis bezitten van de technische kant van de ruimtevaart en van de astronomische zijde van ons terrein van onderzoek, zijn een aantal van deze onderwerpen uitvoerig

toegelicht. Op enkele plaatsen waren daarbij wiskundige herleidingen van belang, maar ze kunnen bij een eerste lezing in de meeste gevallen zonder bezwaar worden overgeslagen.

Mede daardoor en omdat dit boek een overzicht geeft van een groot aantal onderzoekingen en experimenten, die nog aan de gang zijn, zal het lange tijd zijn aktualiteit behouden, ook al zullen er in de komende jaren nieuwe lanceringen op uitgebreide schaal volgen.

Wij danken allen, die ons bij de samenstelling op allerlei manieren hebben geadviseerd of met figuren of fotomateriaal geholpen. In het bijzonder noemen wij enkele medewerkers van de Utrechtse Sterrewacht en het Laboratorium voor Ruimteonderzoek, Prof. Dr. C. de Jager, de heren Lantwaard en Titulaer, de NASA en de Ambassade van de USSR in ons land. Voorts geldt onze dank een aantal medewerkers van buitenlandse instituten en mijn vader, de heer P. van Diggelen, die de gehele tekst kritisch doorlas.

eerste hoofdstuk

oude dromen worden werkelijkheid

Sagen uit de Oudheid – Galilei en Columbus – De droom van Kepler – De eerste mens verlaat de aarde – Vliegtuigen, maar geen ruimtevaart – De pioniers van de raket – De oorlog verschaft de hulpmiddelen – White Sands Proving Grounds – Het onderzoek van de lagere atmosfeer – Plannen voor een kunstmaan – Dit is echte ruimtevaart – Een historische datum – Tien jaren van vooruitgang – Mee op ontdekking nu en in de toekomst.

Zolang er mensen hebben geleefd op onze aarde zijn zij voortgedreven door een mysterieuze drang om het onbekende te onderzoeken. De jagers en holbewoners van honderdduizenden jaren geleden volgden het spoor van de ijstijden. Hun rotstekeningen getuigen van een leven van strijd om het bestaan. De aarde was voor hen onmetelijk en uitgestrekt zonder andere grenzen dan die de natuur hun stelde in de vorm van ijs, water en woestijnen.

De eeuwen vergleden en in de landen om de Middellandse Zee verrezen beroemde kultuurcentra. Egypte, Griekenland en Rome drukten niet alleen het stempel van hun militaire macht, maar ook dat van hun beschaving op de wereld van hun tijd. De aarde, zoals de geleerden van toen zich die merendeels voorstelden, was ontdekt en allerwegen verkend. Schepen zeilden over de zee en snelle ruiters trokken door het land. In het noorden begrensden de onmetelijke, grotendeels onbewoonde bossen, in het zuiden de eindeloze zandzee van de Sahara de toen bekende wereld. Westwaarts strekten zich de watermassa's van de Atlantische, oostwaarts die van de Indische Oceaan uit. Daartussen leefde de mensheid.

De weg naar beneden leidde naar de onderwereld. De enige weg die nog niet was verkend, was die omhoog. De vogels lieten aan de denkers in die tijd al zien, dat ook het luchtruim toegankelijk moest zijn. Zou het die knappe mensen, die schepen konden bouwen om de zeeën de bevaren, dan niet gelukken vleugels te maken om naar de sterren te vliegen?

Er was immers het beroemde verhaal van de Athener Daidalos, die wegens doodslag door de Areopagus werd veroordeeld en naar Kreta vluchtte. Aanvankelijk was hij een gunsteling van koning Minos. Later echter raakte hij uit de gunst en zette de koning hem samen met zijn zoon Ikaros gevangen in het Labyrinth. Toen vervaardigden beiden, vader en zoon, vleugels, die zij met was aan hun lichaam hechtten, en vlogen zij als vogels de vrijheid tegemoet. Ikaros was zo verbijsterd door deze wonderlijke belevenis, dat hij hoger en hoger vloog. Zo kwam hij tenslotte te dicht bij de zon, de was smolt, hij verloor zijn vleugels en stortte naar beneden in de zee. Daidalos ontsnapte en bereikte veilig Sicilië.

De Oudheid was echter meer een tijd van verhalen en woorden dan van nuchtere experimenten. Proeven om het wonderlijke verhaal van Ikaros te staven werden niet gedaan. Toch vonden de ideeën van de grote denkers uit die oude tijden zoveel ingang, dat zij de grondslag vormden voor het wereldbeeld gedurende vijftienhonderd jaar.

Pas in de vijftiende en vooral in de zestiende eeuw werd de traditie van de Oudheid definitief doorbroken. Twee namen zijn voldoende, wij noemen slechts Galilei en Columbus als pioniers van een andere tijd. Galilei doorvorste als eerste met zijn kijker de met sterren bezaaide nachtelijke hemel. Hij ontdekte bergen op de maan en in zijn tijd ontkiemde de gedachte aan de mogelijkheid, dat die eindeloze ruimte boven ons niet de materiële woonplaats zou zijn van bovennatuurlijke wezens. Zouden die verre werelden, die zich als lichtpuntjes vertonen in het donker van de nacht, kunnen lijken op onze eigen aarde? Zou het denkbaar zijn, dat de mens, die zijn eigen wereld nog moest ontdekken, eens op weg zou gaan naar die verten? Tegelijk ontwaakte de nieuwsgierigheid naar de grenzen van onze eigen wereld. Zo begon het tijdperk der grote ontdekkingsreizen.

Een strijd met de theologie van die tijd was het direkte gevolg van de nieuwe ideeën der wetenschap. Hoe diep het bijgeloof echter nog wortelde, blijkt uit het feit, dat vooraanstaande schrijvers, onder wie geleerden van naam, hun denkbeelden uitdrukten in zeer wonderlijke verhalen. Het boek *Somnium* van Kepler, de grote keizerlijke mathematicus, verscheen niet tijdens zijn leven, maar pas vier jaar na zijn dood. Kepler vertelt daarin over een

zelf beleefde droom. Hij droomt, dat hij een boek leest over een jongeman, die astronomie studeert. Deze ontdekt, dat er geesten (!) bestaan, die heen en weer kunnen reizen tussen aarde en maan. Wanneer de schaduw van de aarde tot de maan reikt en zo een brug voor hen bouwt, kunnen zij de reis ondernemen en zelfs zijn zij in staat een mens mee te nemen op hun tocht. Zo lukte het Keplers held de maan te bereiken. Wat hij dan ziet en beleeft is geen fantasie meer. Kepler wist reeds hoever de maan verwijderd was van de aarde. Hij wist, dat de zon veertien dagen achtereen het maanoppervlak verhit. Hij kende de kraters en de walvlakten en spekuleerde over het ontstaan ervan en over de vreemdsoortige levende wezens, die op de maan zouden kunnen bestaan. Hij zocht ook naar een fysisch middel om de eindeloze afstand van 384000 km te overbruggen, die de aarde van de maan scheidt. In het spel van licht en schaduw zag hij de enige in zijn tijd mogelijke verbinding. Ongetwijfeld staan wij hier bij het begin van het idee van de ruimtevaart. Eerst zouden echter de technische middelen moeten worden ontwikkeld, voordat er iets van dit denkbeeld verwezenlijkt zou kunnen worden.

Eeuwen volgden, waarin de wetenschap zich langzaam en moeizaam losworstelde uit de drukkende ketenen der middeleeuwen. Sterrenkunde, wiskunde en natuurkunde begonnen gezamenlijk aan een steeds sneller voortgaande ontwikkeling.

Het jaar 1783 was een nieuwe mijlpaal, omdat toen de eerste mens zich boven de aarde verhief. De Rozier en de markies d'Arlandes stegen op in een Montgolfière, een met verwarmde lucht gevulde luchtballon. Verbeteringen van dit nieuwe vervoermiddel volgden spoedig en bij nieuwe opstijgingen werden steeds grotere hoogten bereikt. In 1804 kwam Gay Lussac tot 7000 m, in 1862 bereikten Glarsher en Coxwell 8000 m.

In dezelfde negentiende eeuw werd het werk van Columbus voltooid; de ontdekking van de aardbol werd afgesloten. De kolonisatie leidde tot een betere kennis van niet of weinig bekende landen en streken. Snelle stoomschepen en spoortreinen verkortten de afstanden. In de twintigste eeuw volgde tenslotte de definitieve verovering van de lucht door de mens. De uitvinding van het vliegtuig maakte de sage van Ikaros op een volkomen ongedachte wijze tot nuchtere werkelijkheid. Tegelijkertijd werd het echter ook volkomen duidelijk, dat met deze vervoermiddelen

en op deze wijze de tocht naar de maan en naar de sterren onmogelijk zou zijn. Velen in Keplers tijd begrepen misschien nog niet, dat de atmosfeer de aarde slechts als een uiterst dunne luchtschil omringt. Zonder lucht geen luchtvaart en dus geen vliegreis naar de maan.

De ruimtevaart, deze grote uitdaging aan de menselijke ontwikkeling, vereist een geheel andere mogelijkheid om zich voort te bewegen – niet alleen in het luchtruim, maar ook in de wereldruimte tussen sterren en planeten. Zo'n systeem is in principe gevonden in de vorm van de *raket*. Reeds in de jaren twintig van onze eeuw begonnen de pioniers van het raketonderzoek met hun experimenten. In 1923 publiceerde professor Oberth zijn boekje over rakettochten naar de planeten. Daarin stelt hij principieel vast, dat het met die raketten mogelijk is de aarde te verlaten, de planeten te bereiken en bovendien dat dergelijke ruimteschepen technisch en ekonomisch te konstrueren zijn.

Anderen volgden zijn geestdriftige denkbeelden en omstreeks 1930 begonnen zij in Duitsland, Rusland en Amerika met proefnemingen in schuurtjes en op verlaten velden. Met weinig geld en gebrekkige hulpmiddelen bouwden zij raketjes en vuurpijlen. Het waren deze pioniers, die de grondslag legden voor de huidige ontwikkeling. In de loop der jaren verflauwde echter hun ijver, omdat hun pogingen voornamelijk vastliepen op hun gebrekkige hulpmiddelen en het tekort aan financiën. Niettemin konden de militaire machthebbers tijdens de oorlog 1940–45 een beroep op dit oude kader doen. In Peenemünde aan de Oostzee verrees een proefstation van het Duitse leger; onder leiding van Walter Dornberger werkte hier onder meer Wernher von Braun met meer dan 20000 mensen. Uit de vuurpijlen van de jaren dertig werd een raket ontwikkeld met een hoogte van 14 m en een startgewicht van 12 ton. Meer dan 80 km hoogte bereikte dit monster en tot 300 km ver lag het doel waar hij neerkwam. Meer dan 5000 kg vloeibare zuurstof en ongeveer 3000 kg alkohol vormden de brandstof, die de raket gebruikte om een lading springstof van 1 ton naar het uitgekozen doel te transporteren. Immers alle inspanning was gericht op de eisen van de oorlog en niet op de ruimtevaart. De enorme technische vooruitgang, die nu bereikt was met de V2, was tot stand gekomen doordat de staat terwille van het winnen van de oorlog hulpmiddelen had verschaft, die

voor wetenschappelijk onderzoek op het gebied van de ruimtevaart nog nooit waren verstrekt.

Het jaar 1945 bracht een einde aan de oorlogswaanzin. De Amerikanen maakten een groot aantal gedeeltelijk of in het geheel nog niet in elkaar gezette V2-raketten en een reusachtige hoeveelheid bijbehorend materiaal buit. In augustus 1945 werd het verscheept naar Las Crucas in New Mexico voor gebruik op de White Sands Proving Grounds. In januari 1946 werd aan belangstellende geleerden voorgesteld van deze raketten gebruik te maken. Een nieuwe fase van het ruimteonderzoek was begonnen. De 'V2 Upper Atmosphere Panel' ontstond en het eerste programma omvatte vijfentwintig lanceringen. De eerste V2 werd op 16 april 1946 op de basis te White Sands Proving Grounds afgeschoten. Tot 22 augustus vonden er elf lanceringen plaats, waarvan er vier mislukten. Reeds de eerste vlucht (die overigens bij de mislukte behoorde) was met een raket, die een geigerteller bevatte om de intensiteit van de kosmische straling te meten. De twaalfde lancering, die op 10 oktober 1946 plaatsvond, werd een groot sukses. De raket bereikte een rekordhoogte van 160 km. Helaas was de baan vanaf de aarde niet zo gemakkelijk goed te volgen en men begon de noodzaak in te zien speciale instrumenten te bouwen voor dit soort werk. Zo werd er op uitgebreide schaal met het vroegere oorlogswapen voor wetenschappelijke doeleinden geëxperimenteerd. Tot 29 oktober 1951 werden er 66 V2's afgeschoten van de basis te White Sands en nog drie andere elders. Bij deze vluchten werden meer dan 20 ton instrumenten en wetenschappelijke apparatuur omhooggebracht. Dit leidde tot een aanzienlijke vermeerdering van onze kennis van de onderste tweehonderd kilometer van de aardse dampkring.

Een groot aantal V2's werd ook gebruikt voor speciale proeven. Als opvolger van dit van origine Duitse projektiel werd door Glenn L. Martin Company en Reaction Motors Inc. onder de technische leiding van het Naval Research Laboratory de *Viking* gebouwd. Dit was niet de eerste Amerikaanse raket. Reeds in december 1944 was op verzoek van het Amerikaanse leger de *War Corporal* ontworpen, die meteorologische instrumenten omhoog bracht.

Langzamerhand werden de raketten gebruikt bij het wetenschappelijk onderzoek van de dampkring en bij het opnemen van

spektra van de zon boven de storende luchtlagen der aarde. In de jaren na 1951 bereikten geperfektioneerde raketten grotere hoogten en breidde het gespecialiseerde onderzoek zich verder uit. Zover was men nu langzamerhand gevorderd, dat bij de voorbereiding van het Internationale Geofysische Jaar het denkbeeld naar voren kwam te trachten een kunstmaan te lanceren.

De eerste gegevens daarover werden op 29 juli 1955 officieel openbaar gemaakt in een aankondiging van het Witte Huis. Voor het einde van 1958 hoopten de Verenigde Staten een satelliet in een baan om de aarde te brengen. Dit zou plaatsvinden in het kader van het Geofysische jaar (afgekort IGY). Dit evenement duurde van juli 1957 tot december 1958 en de kunstmaan zou dus pas tegen het einde ervan klaar zijn. Zij zou deel uitmaken van de uitgebreide reeks onderzoekingen, die in die achttien maanden zou worden uitgevoerd. Het bleek echter dat deze onderneming, het projekt-Vanguard genoemd, een zeer omvangrijke taak was. Particuliere ondernemingen en officiële bureaus werden overbelast. Niet alleen het bouwen van miniatuurinstrumentjes in de uiterst kleine satelliet was een vraagstuk, maar veel moeilijker bleek nog het vervaardigen van een meertrapsraket die doeltreffend en betrouwbaar werkte. Weliswaar beschikte men over raketten, die tot op grote hoogten konden doordringen, maar die vielen direkt weer naar de aarde terug. Om een kunstmaan in een baan te kunnen brengen om de aarde, waren grotere snelheden en dus meertrapsraketten nodig. Als de eerste raket is uitgewerkt ontbrandt de tweede, nadat het overbodige lege deel van de eerste trap is losgekoppeld. Die vermeerdert dan de snelheid opnieuw en brengt de kunstmaan nog hoger. Weer wordt een lid, het lege tweede, afgeworpen en de resterende kleine derde trap beweegt in een nagenoeg horizontale baan. Zij geeft de kleine kunstmaan voor in haar neus voldoende snelheid om die in een baan om de aarde te brengen. Op dezelfde manier zou het mogelijk zijn diezelfde kunstmaan tot een kunstplaneet te maken en naar onze maan of naar Venus of Mars te transporteren. Zo wordt een raketvlucht de eerste fase van een echte ruimtetocht.

Daarom is 4 oktober 1957 een historische datum. Zodoende kunnen wij in 1967 terecht spreken van tien jaar ruimtevaart. Immers terwijl in Amerika op uitgebreide schaal geworsteld werd

met de omvangrijke en schier onoplosbare problemen van het projekt-Vanguard, verrasten de Russen de wereld met de eerste kunstmaan. Omstreeks negen uur 's avonds startte ergens in Rusland op die vierde oktober 1957 een enorme meertrapsraket die de eerste kunstmaan in zijn baan bracht. In 96 minuten liep deze kunstmatige satelliet om de aarde. Spoedig werd hij gevolgd door een tweede, bemand door een hond. Deze spektakulaire, ook uit politiek propagandistisch oogpunt imponerende, suksessen hebben de Amerikanen bijna geprest tot een uiterste krachtsinspanning. Zo volgden dan in 1958 de Amerikaanse kunstmanen. De ontwikkeling van de raket had het mogelijk gemaakt de aarde te verlaten en door te dringen in het heelal.

Tien jaren zijn nu verstreken, waarin een gigantische ontwikkeling in een reusachtig tempo heeft plaatsgevonden. Met instrumenten uitgeruste kabines drongen door in de ruimte tussen aarde en maan. De Van Allen-gordels en de aardse magnetosfeer werden ontdekt. De onbekende achterkant van de maan werd gefotografeerd en de eerste aardse voertuigen voerden landingen uit op de maan. Ruimtesondes drongen in het zonnestelsel door tot bij Venus en Mars en de Rangers en Orbiters fotografeerden de maan van dichtbij. Kunstmanen bespioneerden de zon en de sterren in ultraviolet en röntgenlicht. Televisiebeelden overbrugden de oceanen en weersatellieten fotografeerden wolken en stormen.

Ook de mens zelf klom in zijn nieuwe vervoermiddel en waagde een reis met reusachtige snelheid, die hem in enkele tientallen minuten om de aarde voerde. Hij bleek in staat de enorme versnellingen bij de start te overleven en ondanks de enorme hitte kon hij de landing op de aarde volbrengen. De eerstvolgende stap is de reis naar de maan. De eerste landingen met onbemande voertuigen zijn ook daar reeds volbracht en de ingebouwde televisiecamera's verkenden de bodem. Alle voorbereidingen zijn in snel tempo aan de gang en binnen enkele jaren zal in het tweede decennium van de tijd der ruimtevaart ook deze onderneming tot werkelijkheid worden. Ongetwijfeld zullen andere, nog veel gigantischer plannen volgen. Instrumenten zullen op reis gaan naar Jupiter en een expeditie naar Mars komt ook reeds in het verschiet.

Een nieuwe tijd van ontdekkingen is begonnen. Niet een enkele

Columbus, maar duizenden geleerden over de gehele wereld werken gezamenlijk aan de resultaten van deze ruimtetochten. Dankzij fotografie en televisie kan zelfs de leek er getuige van zijn. Het is onmogelijk in één boek een samenvatting te geven van alle resultaten op het gebied van de sterrenkunde en de geofysika, die de ruimtevaart opleverde. Nog veel onmogelijker is het ook de indirekte toepassingen op zoveel andere gebieden te overzien. Nog nooit zijn zoveel miljoenen voor direkt wetenschappelijk onderzoek met zoveel enthousiasme en met zoveel imponerende resultaten uitgegeven.

de vuurpijl wordt ruimteschip

Voortstuwing in het luchtledige – Aktie is reaktie – De werking van de raketmotor – De vuurpijl met vaste brandstoffen – De ontsnappingssnelheid – Het verband tussen snelheid en massa – Gevaarlijke brandstoffen – De noodzakelijkheid van meer dan één trap – De aardrotatie kan meehelpen – De nuttige lading is klein – Een kunstmaan als ruimtestation – Ieder ruimteschip is een hemellichaam.

De raket verschaft ons de enige mogelijkheid om ons in de bijna lege ruimte tussen de hemellichamen te kunnen bewegen. Reeds honderden jaren geleden kende men het principe van de vuurpijl, die wordt voortgestuwd door een reaktiemotor. Bij die voortstuwing is de aanwezigheid van lucht niet van belang. Daarom kan zo'n ruimteschip ook buiten de aardse dampkring zichzelf voortstuwen.

De reaktiemotor is een direkte toepassing van een door de natuurkundige Newton ontdekt principe: de wet *aktie is gelijk aan reaktie*. De juistheid van deze wet kunnen wij op allerlei manieren

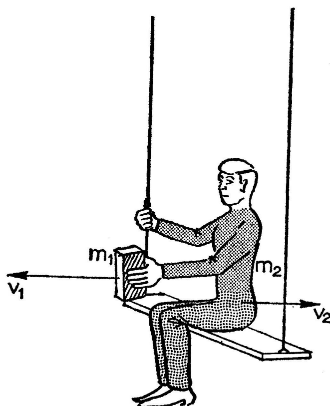


Fig. 1 Het wegwerpen van een steen m_1 met snelheid v_1 vanaf een schommel demonstreert de wet *aktie is reaktie*.

ontdekken. Wij volstaan met een eenvoudig voorbeeld. Zet u op een schommel, gewapend met een zware baksteen (fig. 1), werp die voor u uit en u zult bemerken dat deze aktie (de stoot van de steen) bij de werper en zijn schommel een tegenstoot veroorzaakt (de reaktie). De snelheid waarmee de steen wordt weggeworpen is van belang, evenals de massa ervan. Neem dus een zware steen en werp die snel weg! Hoe groter en zwaarder de steen en hoe sneller ze wordt weggeworpen, hoe groter ook de snelheid waarmee de schommel uitwijkt.

Wiskundig schrijft men dit als $m_1 v_1 = — m_2 v_2$ (1)

Hierin is m_1 de massa van het agerende lichaam en v_1 zijn snelheid, terwijl m_2 de massa is van het reagerende lichaam en v_2 zijn snelheid. De moderne reaktiemotor stuwt een gasstroom uit met grote snelheid. De aard van het gas is niet van primair belang. In verband met die gasstroom spreekt men ook wel van de *straalmotor*. Bij de in vliegtuigen toegepaste motoren wordt de gasstroom verkregen door zeer explosieve brandstoffen te verbranden. Daarvoor is zuurstof uit de lucht nodig. Iedere verbrandingsmotor gebruikt zuurstof. Deze motoren werken dus niet in het luchtledige. Ook de bij de raketten toegepaste straalmotoren gebruiken meestal een tweetal gassen, die samengebracht een buitengewoon explosief mengsel leveren. Zuurstof is vaak een daarvan. De raketmotor voert echter haar brandstof met zich mee in grote tanks, die boven de motoren in de raket gebouwd zitten. Daardoor is de lucht in de aardse dampkring zelfs een weerstandbiedende hindernis voor de raket. Pas in het luchtledige werkt zij voor de volle honderd procent.

De op vloeibare brandstof werkende raket (fig. 2) bestaat uit de reaktiemotor, de brandstoftanks en een pompinstallatie. De pomp transporteert de brandstof in snel tempo naar de motor. Iedere motor bezit een verbrandingskamer, waarin gasmengsels (de vloeibare brandstof gaat bij de hier heersende hoge temperatuur in dampvorm over) samenkomen, die zeer explosieve chemische reakties aangaan. Bij die explosies zoekt het gas, dat nu onder hoge druk uitzet, een uitweg. De druk naar rechts heft die naar links op, evenals de druk naar achteren die naar voren opheft. Die naar boven en onder echter heffen elkaar niet op. Er is een naar boven gerichte resultante, zodat de verbrandings-

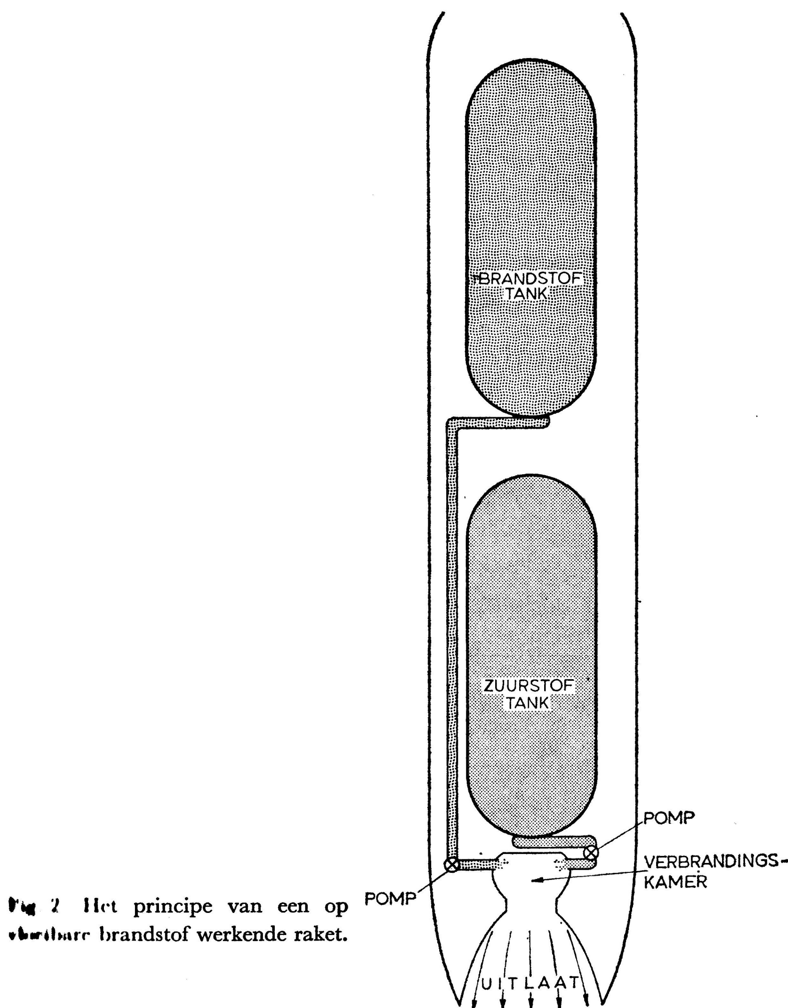


Fig. 2 Het principe van een op vloeibare brandstof werkende raket.

kamer een naar boven gerichte *stuwkracht T* ondervindt. Deze kracht is afhankelijk van de grootte van de opening van de uitlaat, van de vorm daarvan en van de snelheid van de uitstromende gassen. Is de kracht groot genoeg, d.w.z. even groot als het gewicht van de raket, dan staat deze op het punt te gaan bewegen. Wordt ze nog groter dan gebeurt dat inderdaad en de stuwkracht veroorzaakt een versnelde beweging. Naarmate de raket stijgt, wordt haar massa kleiner, doordat er voortdurend brandstof wordt gebruikt. Die verlaat de uitlaat in de vorm van een

enorm hete, vaak gloeiende, gasstroom. De uitlaat en de ontbrandingskamer moeten daarom vervaardigd worden van materialen die tegen de enorme druk en hitte bestand zijn. In de gasstroom geplaatste strips kunnen haar nog enigszins in een gewenste richting dirigeren. Bij het stijgen van de raket wordt de versnelling groter, al blijft de stuwkracht gelijk. Dit wordt niet alleen veroorzaakt door de afnemende massa, maar ook door de met de hoogte afnemende zwaartekracht en de vermindering van de luchtweerstand, doordat de lucht ijler wordt op grotere hoogte.

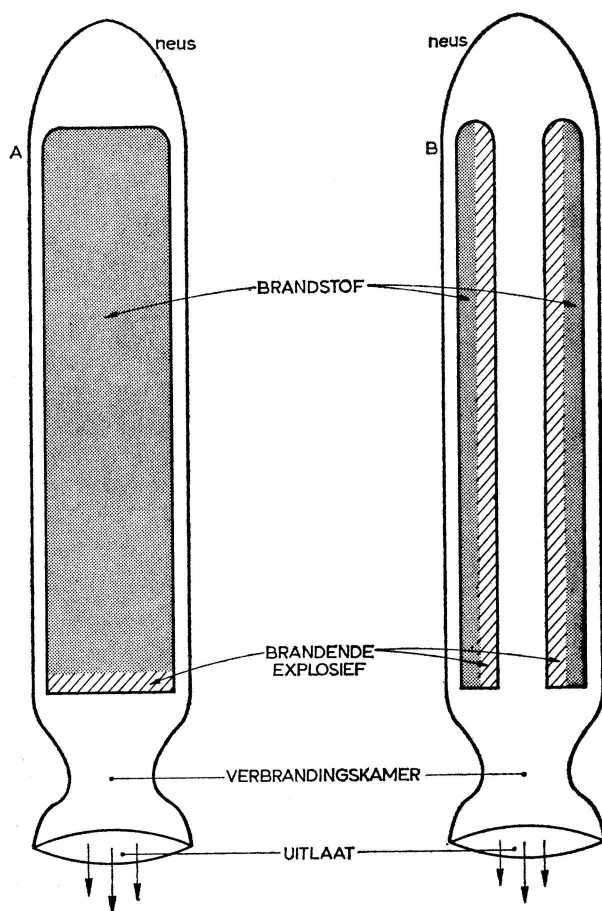


Fig. 3 A: ouderwetse uitvoering van de vaste-brandstofraket; B: een moderne uitvoering.

In de ouderwetse vuurpijlen, die in de modernere versie ook veel worden toegepast, werkte de motor op vaste brandstoffen. Die bevinden zich als een plastische koek, direkt klaar voor gebruik, in de verbrandingskamer (fig. 3). Eenmaal aangestoken behoren ze regelmatig te verbranden en de verbrandingssnelheid kan inderdaad tamelijk konstant worden gehouden. De afwezigheid van tanks met brandstof en van een pompinstallatie maakt dit soort raketten eenvoudig van bouw, gemakkelijk in gebruik en betrouwbaar. Het is haast overbodig te zeggen, dat de vuurpijlen in vroeger tijd dit niet altijd waren.

Bij de raketten met vloeibare brandstoffen was dat trouwens, vooral in de beginperiode, ook lang niet altijd het geval. De eerste experimenten werden vooral bemoeilijkt, doordat bleek, dat een geleidelijke toevoer van brandstof en zuurstof niet zo gemakkelijk was te verwezenlijken. Haperingen in de brandstoftoevoer hebben heel wat explosies en ongevallen veroorzaakt.

Om de aarde te verlaten moet een kogel die wordt weggeschoten een beginsnelheid van tenminste 11,2 km/sek. bezitten. Dit getal hangt af van de massa M en de straal R van de planeet en het volgt uit de formule

$$v = (2fM / R)^{\frac{1}{2}} \qquad (2),$$

waarin f de gravitatiekonstante is. Nu is er uiteraard een verschil tussen een raket en een weggeschoten projektiel, maar willen we met een raket buiten de aantrekkingssfeer van de aarde komen, dan zal deze toch ook met een minstens ongeveer gelijke snelheid moeten stijgen. In de praktijk is dat echter moeilijk te bereiken.

Beschouw een voldoend klein tijdsinterval dt en neem aan, dat in die tijd een massahoeveelheid dm met konstante snelheid c uit de uitlaat van de raket stroomt. Nu weten we al, dat:

$$c\, dm = -\, m\, dv.$$

Delen door m levert een differentiaalvergelijking op:

$$dv = -\, c\, dm/m.$$

De oplossing daarvan luidt:

$$v = -\, c \ln m + A \qquad (3)$$

Hierin is A een konstante. Nemen we aan, dat bij de start van de motor op het tijdstip $t = 0$ ook de snelheid $v = 0$ was, en de massa

van de nu nog vol met brandstof geladen raket noemen we M, dan is

$$0 = -c \ln M + A \text{ zodat}$$
$$A = c \ln M \quad \text{moet zijn.}$$

Invullen geeft dan dat:

$$v = c \ln M/m \text{ en } M/m = e^{v/c} \text{ heet de massaverhouding} \qquad (4)$$

Bovenstaande formule stelt ons in staat de snelheid van de raket te berekenen als haar massa na het opbranden van de brandstof m is geworden. Noemen we de massa van de brandstof m_b dan is de massa van het ruimteschip als alle brandstof opgebruikt is $m = M - m_b$. Op dat moment heeft de raket haar grootste snelheid v_{max} bereikt:

$$v_{max} = c \ln M / (M - m_b).$$

Willen we een grote snelheid bereiken, dan moeten we de breuk $M / (M - m_b)$ zo groot mogelijk trachten te maken. De noemer zou dan zo klein mogelijk moeten zijn en dat kan alleen als we zoveel mogelijk brandstof in de raket stoppen. De vaste delen, zoals de tanks, de motoren en de pompen nemen echter onvermijdelijk een deel van het gewicht voor hun rekening en dit beperkt de mogelijkheid om de massaverhouding onbegrensd te vergroten.

Een andere mogelijkheid om een grote snelheid te bereiken zou nog zijn te vinden in het vergroten van de snelheid van de uitstromende gassen. Dit zijn aanvankelijk koude vloeibare stoffen, zoals vloeibare waterstof, zuurstof of kerosine. Om die gassen vloeibaar te krijgen zijn temperaturen van — 259° C bij waterstof of — 218° C bij zuurstof nodig. Het is niet gemakkelijk deze stoffen te bewaren bij de op aarde heersende temperaturen, omdat ze op heftige wijze trachten te verdampen. Zuurstof gevoegd bij bepaalde benzineprodukten leidt theoretisch tot snelheden van 4450 m/sek. Zuurstof met waterstof is 30 procent effektiever, maar waterstof is aan het aardoppervlak moeilijk te gebruiken. Een nog betere kombinatie zou waterstof met fluor zijn. Vele vloeibare brandstoffen zijn uiterst gevaarlijk. Ze zijn enorm brandbaar, explosief, vreten in op allerlei materialen en hun dampen zijn soms giftig. Bij het tanken moeten dan ook de meest uitgebreide voorzorgsmaatregelen worden getroffen. Speciale kleding, gasmaskers en de grootste zuiverheid voor buizen en leidingen worden in acht genomen. Ondanks dat alles schijnt een waarde van c van omstreeks 4000 m/sek. wel de maximaal bereikbare.

Vanzelfsprekend geldt deze uitspraak voor de huidige vloeistofraketten. In plaats van c, de snelheid van de uit de motoren uittredende gasstroom, gebruikt men vaak de *stuwkracht* T, die met c verbonden is door de uitdrukking:

$$T = c\, m_b \,/\, 9{,}8\, t \qquad (5)$$

Hierin is t de totale tijd in sekonden, dat de reaktiemotor werkt.

Gaan we uit van de verhouding $M/m = 5$ en $c = 3$ km/sek., dan vinden we $v = 3 \ln 5 = 3{,}3$ km/sek. Nemen we als voorbeeld de eerste trap van de Saturnus I-raket, dan is daar $T = 680000$ kg, $t = 120$ sek. en m_b 340000 kg. Daaruit volgt dan dus, dat $c = 9{,}8 \times 120 \times 2 = 2360$ m/sek. Zou deze raket de aarde willen verlaten, dan zou $M/m = \exp\,(11{,}2/2{,}3) = 134$ moeten bedragen. Nu werkt de motor gedurende twee minuten en in die tijd is de raket omhooggestegen tot op grote hoogte waar de aantrekkingskracht van de aarde geringer is en de ontsnappingssnelheid dus eveneens. De luchtweerstand zal echter de snelheid in het begin verminderen, terwijl ook in de eerste sekonden de stuwkracht belangrijk minder zal bedragen dan de theoretische waarde. We zullen er derhalve niet zoveel naast zijn als we veronderstellen, dat de raket pas aan de aardse gravitatie ontsnapt, als zij 99 procent van haar massa als brandstof heeft uitgestoten. Het is duidelijk, dat dit technisch wel te veel gevraagd is. Immers een te groot deel bestaat uit vaste delen en die nemen allicht meer van het totaal in.

Grote snelheden bereikt men door gebruik te maken van een uit *verscheidene trappen* bestaande raket (fig. 4). Een eenvoudig voorbeeld kan dit snel verduidelijken. Neem aan, dat de massaverhouding 10 praktisch is te verwezenlijken, zodat $M \,/\, m = 10$ is. Een dergelijke raket bereikt volgens formule (4) de snelheid

$$v_1 = v_{max} = c \ln 10 = 2{,}3\, c.$$

Bij $c = 3$ km/sek. is dat dus 6,9 km/sek.

Splitsen we nu deze raket, waarvan we aannemen, dat zij 10000 kg massa bezit in twee trappen, een van 8000 en een van 2000 kg. Beide hebben een $M \,/\, m$ van 10 en gelijke c van 3 km/sek. De eerste heeft dan een massa M_1 van 10000 kg, want de tweede trap moet mee omhoog en een m_b van 7200 kg. Dan is dus $v_1 = c \ln\,(10000\,/\,2800) = 1{,}3\, c$. Nu wordt echter de tweede trap pas in werking gesteld nadat niet alleen de eerste is uitgewerkt, maar ook nadat de ballast van de eerste trap met haar lege tanks en overbodige motor is afgekoppeld. Blijft over $M_2 =$

2000 kg en $m_2 = 200$ kg, zodat $v_2 = 2,3\ c$ wordt, want de laatste trap bereikt zeker een evengrote snelheid als een enkele raket en zelfs groter, omdat die trap pas op grotere hoogte ontbrandt, waar aantrekkingskracht en luchtweerstand veel minder zijn. Voor die trap wordt nu de bereikte snelheid $v = v_1 + v_2 = 3,6\ v$, dat is ongeveer 10,8 km/sek. voor $c = 3$ km/sek.

Met drie trappen wordt het nog voordeliger en de lezer kan zelf nagaan, dat bij splitsing van de raket van ons voorbeeld in drie trappen van 7880, 2000 en 20 kg de bereikte eindsnelheid $v = v_1 + v_2 + v_3 = 1,3\ c + 2,2\ c + 2,3\ c = 17,4$ km/sek.

Bovendien kan men bij een lancering *gebruik maken van de rotatie van de aarde.* Deze bedraagt aan de evenaar 0,5 km/sek. en een raket, die daar in horizontale richting oostwaarts gelanceerd zou worden, krijgt die snelheid ten volle mee. In de praktijk is dat minder, want bij een horizontale lancering zou de luchtweerstand te lang op de raket werken. Beter kan men een ruimteschip eerst tot boven de aardse dampkring brengen en het dan met de volgende trappen min of meer horizontaal in oostwaartse richting lanceren.

Bevinden we ons niet op de evenaar, maar elders op aarde en is de geografische breedte B en de hoek met de vertikaal, waaronder de raket wordt afgeschoten a, dan is de snelheid, die zij meekrijgt $v_r = \omega R \cos B \sin a$, waarin R de straal is van de aarde in kilometers en ω de hoeksnelheid van de aarde tengevolge van de wenteling om haar as (in rad./sek.).

Vervolgens hebben wij bij onze beschouwingen de *nuttige lading N* van de raket helemaal buiten beschouwing gelaten. Tenslotte is dat het eigenlijke ruimteschip, geladen met instrumenten en astronauten, in de neus van de laatste trap van de raket geplaatst, waar het uiteindelijk bij alle tochten om gaat. Het is duidelijk, dat N slechts een klein deel zal uitmaken van de totale massa, omdat de kabine aan de laatste trap is gekoppeld en ook daardoor nog moet worden voortgestuwd. Daar de massa van N dus ten opzichte van M relatief klein is, zal ze in de voorenstaande voorbeelden en berekeningen nauwelijks invloed uitoefenen. Reusachtige meertrapsraketten zijn nodig om een relatief kleine kabine in een baan om de aarde of nog verder naar de maan of de planeten te zenden.

Stel dat de raket is opgebouwd uit een aantal trappen (fig. 4), die we 1, 2, 3, . . . enz. nummeren. We voeren de volgende letters in:

M_1 = de totale massa van de gehele raket, eerste en volgende trappen,
m_{b1} = de massa van de brandstof van de eerste trap,
m_1 = de massa van de eerste trap zonder brandstof.
λ_1 = $m_{b1} / (m_{b2} + m_1)$,
ζ_1 = m_{b1} / M_1,
M_2 = de massa van de tweede en volgende trappen,
m_{b2} = de massa van de brandstof van de tweede trap,
enz.

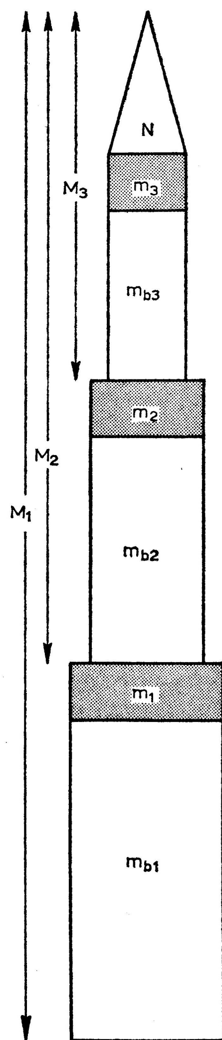


Fig. 4 Opbouw van een drietrapsraket met de in de tekst gebruikte symbolen.

Nu was volgens vergelijking (4) $v_1 = c_1 \ln M_1 / (M_1 - m_{b1})$
$= c_1 \ln 1 / (1 - \zeta_1)$

Nu wordt m_1 afgeworpen, zodat M_2 overblijft waaruit weer volgt dat
$v_2 = c_2 \ln 1 / (1 - \zeta_2)$ enz.

De totale snelheidstoename is dan
$v = c_1 \ln 1 / (1 - \zeta_1) + c_2 \ln 1 / (1 - \zeta_2) + \dots$

We kunnen het aantal trappen niet onbeperkt opvoeren, omdat de begintrappen dan al te zwaar zouden worden. Het percentage van de nuttige lading neemt snel af ten opzichte van de totale massa. Stel de *nuttige lastverhouding* is $p = N / M_1$.
$M_1 = M_2 + m_{b1} + m_1$
$M_2 / M_1 = 1 - \zeta_1 / \lambda_1$

Net zo is $M_3 / M_2 = 1 - \zeta_2 / \lambda_2$ enz.

Voor de laatste trap geldt $M_{n-1} = M_n + N = m_{bn} + m_n + N$ zodat
$N / M_{n-1} = 1 - \zeta_n / \lambda_n$ zodat

$$p = \frac{N}{M_1} = \frac{N}{M_{n-1}} \cdot \frac{M_{n-1}}{M_{n-2}} \cdots\cdots \frac{M_2}{M_1} =$$

$$= \left(1 - \frac{\zeta_n}{\lambda_n}\right) \left(1 - \frac{\zeta_{n-1}}{\lambda_{n-1}}\right) \cdots\cdots \left(1 - \frac{\zeta_2}{\lambda_2}\right) \left(1 - \frac{\zeta_1}{\lambda_1}\right).$$

We krijgen de volgende resultaten bij $c = 3$ km/sek., $\lambda = 0{,}9$ en $\zeta = 0{,}8$.

	N/M_1	v_{max}	M_1	M_1	M_1
eerste trap	11 %	4,8 km/sek.	2700000 kg	500000 kg	90000 kg
tweede trap	1,2 %	9,6	300000	55000	10000
derde trap	0,14%	14,4	32000	6000	1090
N		14,4	3800	700	125

We zien daaruit welke reusachtige beginmassa's er nodig zijn om een kabine van enkele tonnen buiten de aantrekkingskracht van de aarde te brengen. In de tabel op pag. 19 geven we enkele getallen van een aantal bekende raketten.

Het zou eenvoudiger zijn als we een tocht naar de maan konden beginnen van een ruimtestation uit. Als we de aarde konden voorzien van een kleine kunstmatige begeleider op niet te grote afstand, dan zouden we van daaruit met betrekkelijk weinig energie kunnen vertrekken. Zo'n ruimtestation kan onmogelijk als

Raket	gewicht kg	stuwkracht, T kg		t sek.	c m/sek.
V 2	12000	60000		60	4180
Atlas D	90400	138000		130	3000
met stuwraketten	118000	162500		130 + 175	
Titan	99500	162500			
Titan 3 C	680000	900000			
Centaur	14500	13600		340	4200
Saturnus 1	500000	680000		120	
Saturnus 1B	573000	680000	+91000		
Saturnus 5	2730000	3400000 +450000 + 90000			

geheel direkt vanaf het aardoppervlak omhoog gebracht worden. Het zal moeten worden opgebouwd uit onderdelen, die geleidelijk aangevoerd worden en die daarboven worden samengevoegd tot een grote kunstmaan. Nu in 1966 is gebleken, dat het inderdaad mogelijk is ruimteschepen en raketten aan elkaar te koppelen, kan men gaan overwegen of het door sommige deskundigen geopperde plan van een groot permanent ruimtestation in de vorm van een om de aarde cirkelende kunstmaan voldoende zin heeft om het uit te voeren. Voor verre reizen met bemande kabines naar andere planeten lijkt het zeker een belangrijk hulpmiddel.

Iedere ruimtereis is een kwestie van snelheid. Men moet er eerst in slagen het ruimteschip voldoende grote snelheid te geven om de aarde te kunnen verlaten. Bovendien moet het ook nog snelheid genoeg hebben om zijn doel te bereiken. Daarbij speelt niet alleen de grootte van de snelheid maar ook de richting een beslissende rol. Ieder ruimteschip dat door zijn raketten in een bepaalde richting wordt voortgestuwd met een eenmaal verkregen snelheid, gaat in ons zonnestelsel een baan beschrijven. Het gaat deel uitmaken van de grote verzameling kleine planeten, die samen met een negental grote en een groot aantal miniatuurlichamen dat stelsel vormen. Waar zijn tocht heen gaat en hoe die verloopt is sterk afhankelijk van de wetten die de bewegingen in het zonnestelsel regelen.

derde hoofdstuk

zweven in het heelal

Ons zonnestelsel – Zon, planeten, satellieten – Kometen en meteoroïden – Waarom een kunstmaan vanzelf om de aarde draait – De wet van Newton – Het zwaartekrachtsveld van aarde, maan en zon – Drie soorten banen – De wetten van Kepler – De Hohmann-ellips – Een tocht naar Venus als voorbeeld – Parkeerbanen zijn nodig – Tochten naar de maan – Banen per rekenmachine – Baankorrekties in de praktijk.

De zon is een der vele miljoenen sterren van ons sterrenstelsel en allerminst een bijzondere ster. Wij kennen heel wat grotere sterren, maar ook veel kleinere. Er bestaan duizenden graden hetere maar ook duizenden graden koudere sterren. Toch neemt diezelfde zon, althans wat onze huidige kennis betreft, een bijzondere plaats in. Zij wordt namelijk begeleid door een planetenstelsel. Misschien is ook dat geen uitzondering. Hoogstwaarschijnlijk zijn er duizenden andere sterren, die ook omgeven worden door planeten. Ontdekt en waargenomen hebben wij dat echter nog niet.

De aarde is een van die planeten. In volgorde van de afstand tot de zon zijn het Mercurius, Venus, Aarde, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus en Pluto. Terwijl de zon een ster is, een uit zichzelf lichtgevende gasmassa met een zeer hoge temperatuur, zijn de planeten donkere vaste lichamen, die hun warmte en het licht dat ze reflekteren aan de zon ontlenen. Kaatsen ze voldoende zonlicht terug, dan zien we ze als lichtpuntjes, soms zelfs als zeer heldere sterren, aan de nachtelijke hemel. Pas met een kijker kunnen wij zien, dat het geen sterren, maar dichterbij gelegen planeten zijn. Een ster blijft zelfs in de grootste kijker een dimensieloos lichtpuntje, terwijl de planeten duidelijk een oppervlak vertonen, al is het planeetschijfje in enige gevallen ontzettend klein. Het kleine bijna cirkelvormige schijfje bewijst, dat de planeten in eerste benadering bolvormig zijn. Zo heeft Galilei als eerste mens iets van het oppervlak van Jupiter en Mars bespeurd.

Alle planeten, behalve Mercurius, Venus en Pluto, worden omringd door een of meer kleinere sekundaire hemellichamen. Deze satellieten of manen zijn ook donkere vaste bolvormige lichamen net als de planeten zelf. Ze worden behalve door de planeet grotendeels door de zon verlicht. Onze eigen maan is de dichtstbijzijnde van alle buren in het heelal.

Behalve door deze betrekkelijk grote hemellichamen wordt de zon vergezeld door duizenden kleinere, waarvan er heel wat zelfs geen naam bezitten. Bovendien zijn er kometen of staartsterren in ons zonnestelsel, die bestaan uit een kleine vaste kern opgebouwd uit gruis vermengd met bevroren gassen. Nadert zo'n komeet de zon dan wordt haar kern verwarmd; een deel van haar gas en stofmassa's komt dan vrij. Zo kan zich een staart vormen. De restanten, veelal kleine stofjes maar daartussen ook enkele flinkere brokjes, vullen een deel van de lege ruimte tussen de planeten. Zij worden ook wel meteoroïden genoemd.

Sinds de uitvinding van de kijkers hebben de astronomen met steeds grotere teleskopen, uitgerust met steeds ingewikkelder hulpinstrumenten, getracht de ware aard van zon en planeten te ontdekken. Tot voor kort moesten zij zich behelpen met op aarde opgestelde hulpmiddelen. De ruimtevaart heeft nu echter een nieuw wijd perspektief geopend. Met door raketten voortgestuwde ruimteschepen zijn in de afgelopen tien jaar de meest gecompliceerde instrumenten naar de direkte omgeving en zelfs tot op het oppervlak van de hemellichamen vervoerd. Op die manier is onze kennis van de daar heersende toestanden op uitgebreide schaal gegroeid. Tevens kunnen wij daaruit de kondities vaststellen, waarin straks de mens zal komen te verkeren als hij binnen korte tijd zelf de bodem van die buitenaardse werelden gaat betreden.

Om die reis te volbrengen is de raket ons vervoermiddel. Haar machtige reaktiemotoren stuwen haar met gigantische kracht van het aardoppervlak omhoog. Door het gebruik van meer dan één trap slaagt men er gemakkelijk in een ruimteschip tot een kunstmaan van de aarde te maken, die dan in een zogenaamde parkeerbaan op enkele honderden kilometers hoogte om de aarde cirkelt. Ook als de motoren hun aandrijving staken blijft de kabine om de aarde lopen.

Een lichaam waarop geen kracht meer werkt, volhardt in de

bewegingstoestand waarin het verkeert. Bevindt de uitgewerkte raket zich ergens alleen in het heelal dan gaat zij met haar verkregen snelheid eenparig voort in dezelfde richting. Dit is echter een fiktief geval. Immers al laten we de ver verwijderde hemellichamen buiten beschouwing, dan is daar nog altijd de aarde, die de raket zojuist heeft verlaten. Die aarde trekt raket en ruimteschip nog altijd aan en tracht hen te doen terugvallen. Het is dus allerminst zo, dat een kunstmaan zweeft. Integendeel, de aarde trekt haar voortdurend aan en slechts haar grote snelheid belet dat het voorwerp terugvalt. Om dit te begrijpen denken we ons een korte tijdsperiode, bijv. 10 minuten (fig. 5). In dit tijdsinterval zou de eenparig voortsnellende satelliet zich van A naar B voortbewegen. De aantrekkingskracht van de aarde zou intussen de satelliet van A naar C doen vallen. Het resultaat van beide bewegingen is, dat de kunstmaan in D terechtkomt, nog steeds even ver van het middelpunt van de aarde verwijderd als

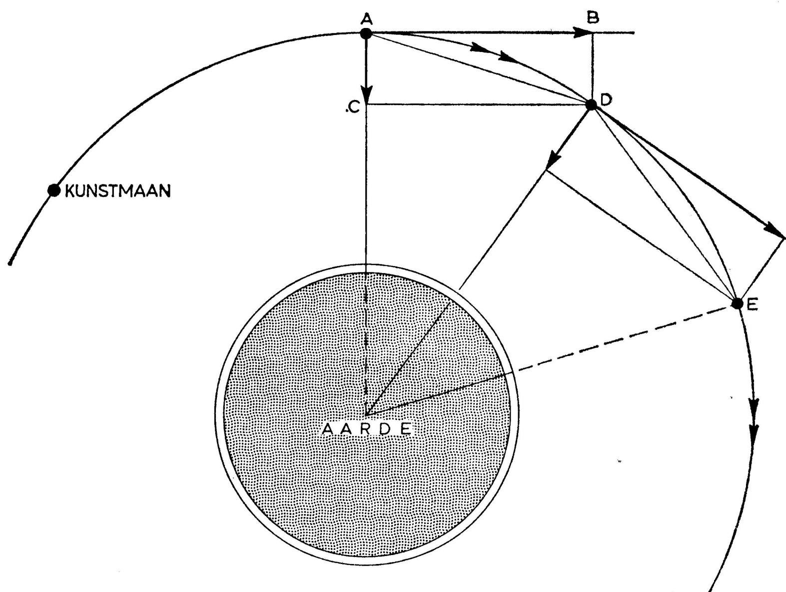


Fig. 5 De cirkelbaan van een kunstmaan om de aarde ontstaat in principe door haar snelheid gekombineerd met een voortdurende valbeweging, waardoor de afstand van de kunstmaan tot het middelpunt van de aarde gelijk blijft.

in A. De volgende 10 minuten herhaalt zich dit spelletje op dezelfde manier, zodat het ruimteschip in E terecht komt. De afstand tot de aarde blijft gelijk en de kunstmaan gaat juist tengevolge van de aantrekkingskracht van de aarde in een baan om de aarde lopen.

Op volkomen analoge wijze beweegt de echte maan zich om de aarde; de bestudering van de bewegingen van de hemellichamen is van groot belang voor de ruimtevaart gebleken. Een ruimteschip waarvan de motoren zijn stopgezet is alleen nog maar als een nieuw klein hemellichaam te beschouwen, dat gehoorzaamt aan dezelfde kosmische wetten, die de grote planeten om de zon en die de satellieten om hun moederplaneten doen bewegen.

Het was Newton, die analyseerde op welke wijze de hemellichamen elkaar aantrekken. De onderlinge aantrekkingskracht F is evenredig met hun massa's m_1 en m_2 en omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstanden van hun middelpunten, a, zodat

$$F = f\frac{m_1\, m_2}{a^2} \qquad (6)$$

Hierin is f een evenredigheidsconstante $= 6{,}67 \times 10^{-11}$, als we de massa's in kg, de afstand in m en de kracht in N meten. De aardse aantrekkingskracht neemt dus snel af met de afstand tot het aardoppervlak. Een aardig voorbeeld is het volgende. We denken ons een laken, dat strak is gespannen aan de vier hoekpunten. In het midden leggen we op het laken een klein gewichtje, waardoor in dat laken een kuilvormige inzakking ontstaat. Ieder knikkertje dat ergens op het gladde laken wordt neergelegd, zal tengevolge van de centrale inzakking naar het midden, de kuil in worden getrokken. Hoe verder het knikkertje zich van de kuil af bevindt, hoe geringer de kracht is, die het wegzuigt. De helling van de kuil is in het midden steil, maar wordt naar buiten toe steeds vlakker. Schieten we een knikkertje met grote snelheid langs de kuil, dan zal zijn bewegingsrichting worden afgebogen. Gaat het snel genoeg dan passeert het de kuil, gaat het te langzaam dan wordt het gevangen. Zou er geen wrijving zijn met het laken, dan kan men zich voorstellen, dat het in een bepaald geval juist om de kuil heen blijft rollen.

Op volkomen gelijke wijze stellen we ons om de aarde een

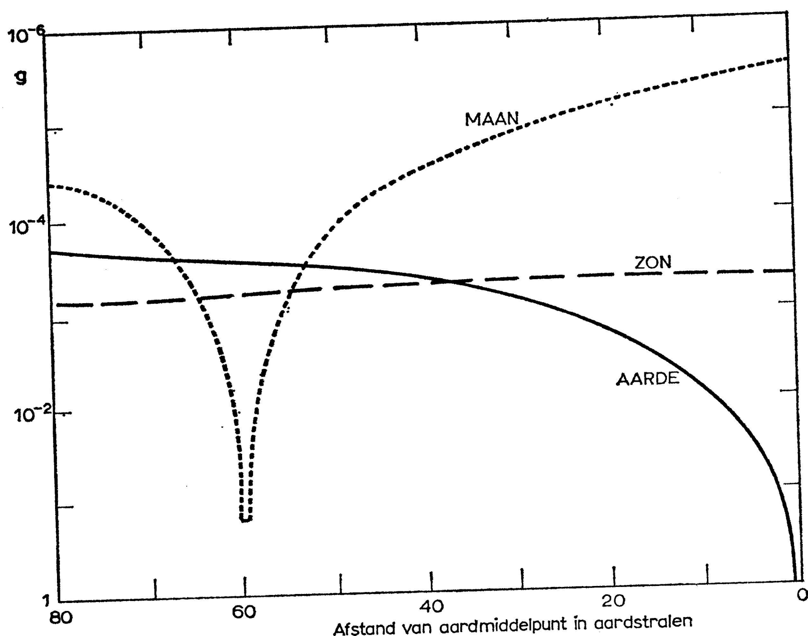


Fig. 6 De gravitatie-'put' van de aarde (rechts onder) en van de maan bevinden zich in het hier bijna horizontaal verlopende gravitatieveld van de zon.

soort gravitatieput voor in de ruimte en we kunnen die zelfs in een figuur voorstellen (fig. 6). De zwaartekracht tracht ieder ruimteschip aan te trekken in die put. Pas op grote afstand wordt de helling zo gering, dat de aantrekkingskracht in de figuur onmerkbaar klein lijkt. Toch blijft ze aanwezig, zodat een stilstaand lichaam bij afwezigheid van andere storingen toch uiteindelijk naar de aarde (in de kuil) zou worden getrokken. Op ongeveer 60 aardstralen afstand bevindt zich een minder diepe gravitatieput, het aantrekkingsveld van de maan. Dat die minder diep is komt door de zoveel kleinere massa van de maan. De maan zelf beweegt in het aantrekkingsveld van de aarde, terwijl die op haar beurt samen met de andere planeten in het zwaartekrachtsveld van de zon beweegt.

De banen van de hemellichamen om de zon heen hangen direkt samen met hun snelheid. Naar de vorm van de baan onderscheiden we drie gevallen:

a. snelheden kleiner dan de parabolische snelheid, $u = (2fM / a)^{\frac{1}{2}}$ waarin f de gravitatieconstante, M de massa van het centrale lichaam en a de afstand daartoe voorstelt,
b. snelheden gelijk aan u,
c. snelheden groter dan u.

Op de afstand van de aarde tot de zon is $u = 42$ km/sek. Alle hemellichamen, die op aardafstand van de zon langzamer bewegen dan 42 km/sek. zullen tot de categorie a. behoren en een ellipsbaan gaan beschrijven. Is hun snelheid precies 42 km/sek., dan wordt de baan een parabool; is ze groter, een hyperbool. We kunnen dus in het zonnestelsel drie soorten banen verwachten. De planeten beschrijven ellipsbanen; hyperbolen en parabolen komen voor bij sommige kometen. Het verschil is, dat een ellips een gesloten kromme is, zodat de planeet die een ellipsbaan doorloopt voortdurend om de zon loopt, terwijl bij een hyperbool of parabool de baan om de zon tot één passage beperkt blijft.

De bewegingen van de planeten in hun ellipsbanen om de zon zijn lang voordat Newton zijn aantrekkingswet formuleerde reeds door Kepler in zijn drie beroemde wetten samengevat. Deze wetten luiden:

1. De planeten beschrijven ellipsbanen om de zon. De zon staat in een der brandpunten.

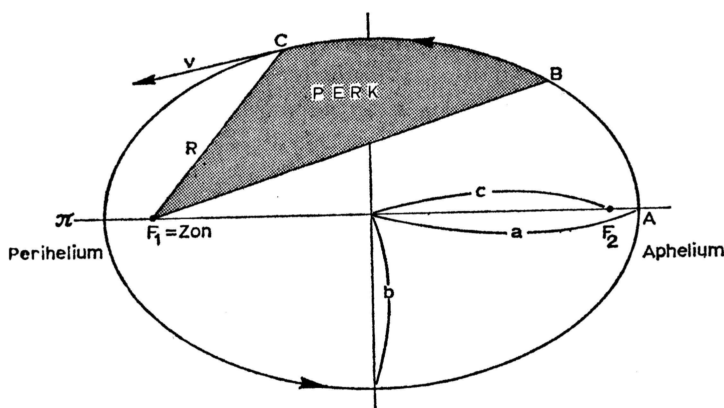


Fig. 7 Een ellipsbaan van een planeet om de zon, die zich in een der brandpunten bevindt. De voerstraal F_1B beschrijft in een bepaalde tijd het perk F_1BC, terwijl de planeet langs haar baan loopt van B naar C.

2. De denkbeeldige verbindingslijn planeet-zon verplaatst zich zo, dat zij in gelijke tijden gelijke oppervlakken beschrijft (fig. 7). Zo'n oppervlak wordt een perk genoemd en daarom wordt deze wet wel de perkenwet genoemd. Uit deze wet volgt, dat de planeten zich dichtbij de zon sneller bewegen dan ver van de zon af. Er bestaat een verband tussen de afstand tot de zon R en de snelheid op die afstand v voor een planeet, die een ellips met halve grote as a doorloopt. Dit verband is:

$$a = \tfrac{1}{2} R \times \frac{u^2}{u^2 - v^2} \qquad (7),$$

waarin u de parabolische snelheid is.

5. De kwadraten van de omloopstijden verhouden zich als de derde machten van de halve grote assen. Dit is de harmonische wet.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \qquad (8)$$

Daar een ruimteschip zich in het zonnestelsel gedraagt als een kunstmatige planeet zijn de drie wetten van Kepler ook daarop van toepassing. De eenvoudigste manier waarop zo'n ruimtevaartuig naar een naburige planeet kan gaan, is langs een Hohmann-ellips. Dit is een ellips, die zowel de aardbaan als de planeetbaan raakt (fig. 8). Weliswaar zijn de banen der grote planeten ellipsen, maar hun excentriciteit is zo gering, dat ze in een tekening op kleine schaal weinig van cirkels afwijken. De baan van het ruimteschip krijgt nu een grotere excentriciteit.

Wil men het bijvoorbeeld een tocht van de aarde naar Venus laten maken, dan zal men het een ellipsbaan moeten geven, waarvan het verste punt (het aphelium) tot de aardbaan reikt en waarvan het perihelium ten minste tot de Venusbaan komt. De halve lange as van de gewenste ellipsbaan is dan te berekenen door de halve som te nemen van de halve lange assen van de aardbaan en de Venusbaan. Daar we bovendien de afstand kennen van ons ruimtevaartuig tot de zon bij zijn vertrek, namelijk de afstand van de aarde tot de zon op dat ogenblik, is het

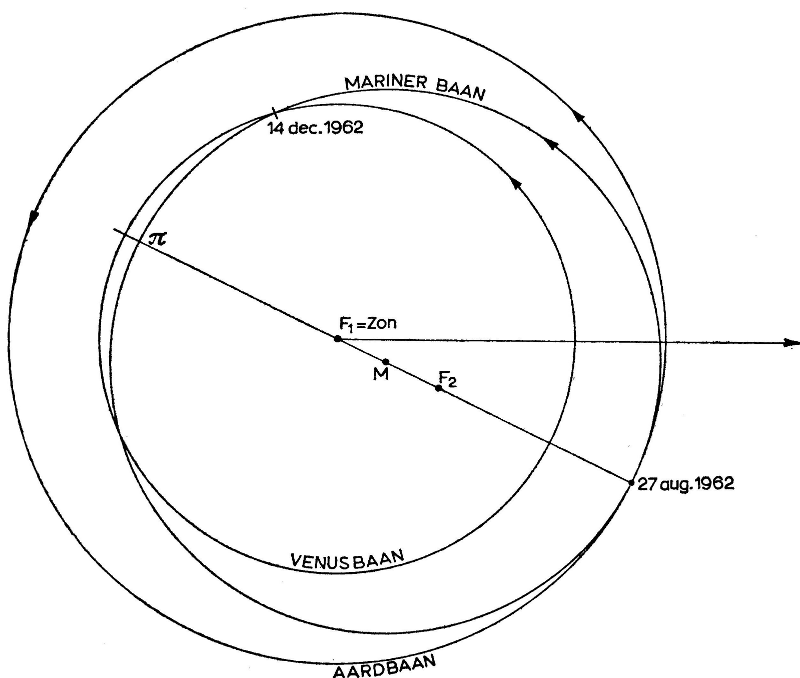


Fig. 8 De baan van de Mariner 2 van de aarde naar Venus in 1962 was bijna een Hohmann-ellips.

mogelijk, de snelheid die het moet hebben om de gewenste baan te beschrijven te berekenen met formule (7). Daarbij moet men bovendien in aanmerking nemen, dat de aarde reeds met een snelheid van 30 km/sek. om de zon draait, zodat we bij tochten in het heelal daarvan kunnen profiteren, want ieder van de aarde afgevuurd ruimteschip krijgt die snelheid mee. Bovendien kunnen we met de derde wet van Kepler nagaan hoeveel dagen zo'n kunstplaneet nodig heeft voor een omloop om de zon. De helft daarvan is juist het aantal dagen, dat nodig is om van de aardbaan naar de baan van Venus te reizen. Wensen we, dat ons ruimteschip dan ook niet alleen de Venusbaan, maar bovendien Venus zelf bereikt, dan moeten we zorgen dat we het op het juiste tijdstip lanceren. Zo duurt een tocht naar Venus 146 dagen. De Mariner 2, die een ellips met een iets kleinere halve as doorliep (fig. 8), bereikte de baan van Venus al na 108 dagen. Beperken we ons echter tot onze theoretische tocht van 146 dagen,

dan kan men, uitgaande van een gekozen lanceerdatum, precies uitrekenen wanneer het ruimteschip de Venusbaan bereikt. Aangezien de positie van Venus in haar baan op iedere dag bekend is, ziet men duidelijk in, dat de kabine Venus slechts treft als ze van de aarde vertrekt op een moment dat deze ten opzichte van Venus in een zeer bepaalde stand staat. Bij Mars vindt die stand bijvoorbeeld slechts één keer in de twee jaar plaats. Het vertrek van de aarde is aan een zeer beperkte tijdslimiet gebonden. Meteorologische kondities maken vaak het lanceren van ruimteschepen op een vast tijdstip uiterst moeilijk. Daarom brengt men interplanetaire kapsules meestal eerst in een parkeerbaan ver boven de dampkring van de aarde, zodat men ze nu op ieder gewenst tijdstip naar de planeet kan laten vertrekken. Ze moeten dan natuurlijk voldoende snelheid meekrijgen en die snelheidsstoot moet in de juiste richting worden gegeven, namelijk in de richting van de raaklijn aan de gewenste ellipsbaan. Wijkt die richting een klein beetje af dan zal het ruimteschip een iets anders gelegen baan van dezelfde vorm gaan beschrijven. Zo'n afwijking mag niet te groot zijn en men kan vooruit berekenen welke speling toelaatbaar is. Met behulp van kleine raketjes, die aan de ruimtekabine gemonteerd zijn, kan men onderweg zowel de grootte van de snelheid als de richting nog enigszins korrigeren.

Een Hohmann-ellips is vanzelfsprekend niet de enige mogelijkheid voor een reis naar de planeten. Ook andere banen zijn denkbaar. Het zou zelfs mogelijk zijn langs een rechte lijn voort te gaan, mits men over voldoende energie zou beschikken. Daar dit laatste voorlopig althans het grootste probleem is, zal men zich bij de ruimtetochten in ons zonnestelsel voorlopig wel beperken tot door de zon gestuurde elliptische banen, waarin het ruimteschip met een kort durende aanloop wordt gebracht.

Een tocht naar de maan lijkt op het eerste gezicht een eenvoudiger vraagstuk dan een reis naar de planeten. Het blijkt echter, dat dit allerminst zo is. Blootgesteld aan de gestadig van grootte en richting wisselende aantrekkingskrachten van aarde, maan en zon is het voertuig een prooi van aanzienlijke storingen. In plaats van een simpele ellips te volgen, beschrijft het een baan in de ruimte van drie afmetingen in plaats van een baan in een plat vlak. Hier komt het beroemde drie- en meerlichamenvraag-

stuk uit de sterrekunde opnieuw naar voren. De wiskundige behandeling daarvan is zeer moeilijk. Het is niet mogelijk de gestoorde baan van elk der betrokken lichamen samen te vatten met in de praktijk bruikbare formules. Met behulp van de moderne elektronische rekenmachines is de behandeling echter op andere wijze ter hand genomen. De machine wordt voorzien van de nodige gegevens – dat zijn de posities van de lichamen op een bepaald begintijdstip en de krachten, die zij volgens de wet van Newton op elkaar uitoefenen. Dan wordt aan de machine een programma voorgelegd (een door programmeurs opgestelde serie rekenvoorschriften) en daarmee berekent zij de plaats van alle lichamen en de krachten die zij op die nieuwe plaats op elkaar uitoefenen zeer korte tijd na het begintijdstip. Met de zo door haar zelf op dit nieuwe moment gevonden gegevens herhaalt de machine de bewerking en vindt weer nieuwe gegevens voor een volgend tijdstip. Daar de machine enorm snel werkt, kan men de achtereenvolgende tijdstippen zeer kort na elkaar vaststellen. Met deze iteratiemethode verkrijgt men stapsgewijze het verloop van de baan. Door de beginvoorwaarden te variëren kan men ook nog verschillende mogelijkheden onderzoeken.

Door allerlei geleerden zijn theoretische berekeningen uitgevoerd voor tochten naar de maan, waarbij niet alleen de aantrekking van maan en aarde, maar ook die van de zon in aanmerking is genomen. De grootte van de beginsnelheid blijkt van zeer veel belang te zijn. Daar de baan van de maan om de aarde een ellips is, is het ook van belang of de maan dicht bij de aarde staat (dicht bij haar perigeum) of in het punt van haar baan, dat zo ver mogelijk van de aarde af ligt (haar apogeum). Ook deze berekeningen zijn echter in de praktijk al weer achterhaald. Doordat men in staat is bij onze modernere ruimtekapsules snelheidskorrekties aan te brengen, korrespondeert de baan niet meer met een van de berekende theoretische banen. Kleine korrekties kunnen de baan ingrijpend wijzigen. Mede omdat de aantrekkingskracht van de maan geringer is dan die van de aarde zijn dergelijke kleine korrekties voldoende om een ruimteschip in plaats van op de maan te laten neerkomen in een baan om de maan te brengen. Zoals de Amerikaanse verkenners Orbiter aantoonden, is een dergelijke baan ook nog voor allerlei wijzigingen vatbaar.

Niettemin moet ook voor tochten naar de maan een bepaald aantal uren worden uitgetrokken. Om de maan dus te treffen, en niet slechts haar baan, moet het ruimteschip ook weer binnen bepaalde tijdstippen en in de juiste richting van de aarde vertrekken. Ook in dit geval zal het dus van tevoren in een parkeerbaan moeten worden gebracht om belemmeringen bij het vertrek te ontgaan.

vierde hoofdstuk

een muur van lucht

De aardse dampkring – Samenstelling aan de grond – De bouw van de atmosfeer – Een beschermende deken – Onzichtbare stralingen – Het spektrum van het licht – Absorptie en extinktie – Vallende sterren en hun lot – De eerste resultaten van de V2-raketten – Seizoeninvloeden op grote hoogte – De ionosfeer – Onbekende dingen op onbereikbare hoogten – De ionisatie van stikstof en zuurstof – Het poollicht – Tot hoever reikt de dampkring? – De geheimen van de exosfeer – Tot hoever reikt de zon? – Leven op de zon – Zonnestoringen en vlammen – Magnetische stormen – De elfjarige periode – Zon en aarde.

De aarde behoort tot de planeten die omringd worden door een atmosfeer. Die aardse dampkring vormt een muur van lucht, die het leven op en nabij het aardoppervlak scheidt van en beschermt tegen de grimmige onbewoonbare wereldruimte buiten de aarde. Wij kunnen die ruimte alleen bereiken door die muur heen. Het is nu eenmaal onvermijdelijk haar te passeren, wil men aan ruimtevaart toekomen. Het is dan ook noodzakelijk eerst de toestanden in de atmosfeer nauwkeurig te onderzoeken om hun invloed op de ruimtevaart na te gaan.

De samenstelling en de bouw van de dampkring maken de aarde bij uitstek bewoonbaar voor levende wezens zoals wij die kennen; bovendien neemt die atmosfeer een zeer bijzondere plaats in te midden van de atmosferen van de andere planeten. Wij noemen het gasmengsel, waaruit de aardatmosfeer bestaat, gewoonlijk lucht, maar bij nauwkeurig onderzoek blijkt dit gas uit een tweetal afzonderlijke bestanddelen te bestaan met daarnaast een groot aantal andere toevoegingen, die echter in zo kleine hoeveelheden voorkomen, dat men haast van verontreinigingen zou gaan spreken. Vullen we een ballon met 1 liter inhoud met lucht (aan het aardoppervlak), dan bevat die ballon 78,09 % stikstof, 20,95 % zuurstof, 0,93 % argon, 0,03 % koolzuurgas, 0,0018 % neon, 0,0005 % helium, kleine beetjes methaan, krypton, stikstofoxyde, waterstof, ozon, xenon en een

enigszins veranderlijke doch zeer geringe hoeveelheid waterdamp. Sommige gassen bevinden zich slechts in zeer geringe hoeveelheden in de lucht, zoals de edelgassen argon, neon, krypton en xenon. Toch moet men nu niet direkt denken, dat er zich in zo'n ballon maar erg weinig deeltjes van zo'n gas bevinden. Het totaal aantal deeltjes in de ballon blijkt namelijk op zeeniveau enorm groot te zijn en wel $n_0 = 2{,}7 \times 10^{22}/\mathrm{dm}^3$.

Naarmate men hoger stijgt, wordt de dampkring ijler, het aantal gasdeeltjes per cm^3, n, wordt kleiner. Ook de massa lucht per cm^3, de dichtheid ϱ, neemt daardoor af. Die neemt echter tevens af, doordat de gemiddelde massa van een luchtmolekuul afneemt, omdat de zwaardere gassen op grotere hoogten relatief minder voorkomen.

Een der interessantste problemen van de dampkring van de aarde is het verloop van de temperatuur met de hoogte (fig. 9). Dat temperatuursverloop heeft aanleiding gegeven tot het verdelen van de dampkring in een aantal gebieden, die de namen troposfeer, stratosfeer, mesosfeer, ionosfeer en exosfeer hebben ontvangen.

De *troposfeer* is het gebied, waar weer, wind en wolken zich bevinden, en waar de meteorologische processen zich afspelen, die

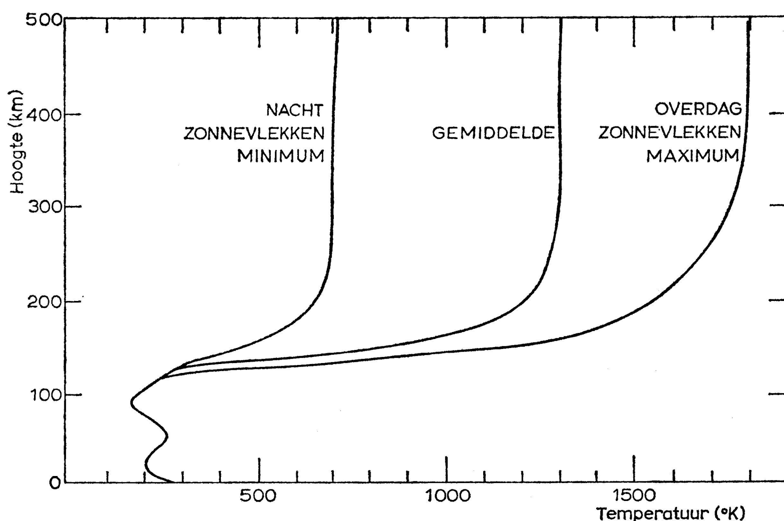


Fig. 9 Enkele gevallen van het met satellieten ontdekte temperatuursverloop in de dampkring van de aarde.

het klimaat van de landstreken op aarde bepalen. Dit is het werkterrein van de meteoroloog, die uit waarnemingen aan de grond en uit de gegevens van aan ballonnen opgelaten sondes regelmatig het temperatuursverloop, de windsterkte en windrichting en de toestand van de bewolking nagaat. Uit al die gegevens tracht hij door kombinatie met die van andere plaatsen het toekomstige verloop van die weerprocessen en dàarmee van het weer aan het aardoppervlak en op grote hoogte te voorspellen. Niet alleen voor de landbouw, maar ook voor zee- en luchtverkeer is dit werk belangrijk en praktisch onmisbaar. De ruimtevaart heeft ook hiervoor nieuwe moderne perspektieven geopend (zie hoofdstuk x).

Alle vaste punten op aarde bevinden zich in dit gebied, hoewel de Mount Everest haar schier onbereikbare top reeds bijna tot de grens er van omhoog steekt. Deze grens bevindt zich op omstreeks 12 km en dat overgangsgebied, waarvan de hoogte enkele kilometers kan variëren, wordt de *tropopause* genoemd. Hier begint de *stratosfeer*; aan de evenaar is dat op 17 km, aan de pool op 8 km hoogte. De stratosfeer reikt tot 35 km. Terwijl de temperatuur in de troposfeer onder normale omstandigheden voortdurend afneemt met de hoogte, blijft ze in de stratosfeer betrekkelijk konstant (ongeveer — 55° C = 218° K). Daarboven begint de temperatuur aanvankelijk te stijgen in het gebied, dat de *mesosfeer* wordt genoemd. Nog hoger bereikt ze weer een tweede minimum van — 65° C. Boven de 80 km stijgt de temperatuur voortdurend en bereikt een konstante waarde in de exosfeer.

Tussen de 25 en 40 km hoogte bevindt zich in de dampkring een iets groter percentage ozon per cm³ dan op zeeniveau, zodat men in betrekking tot dit gebied wel eens van *ozonosfeer* spreekt. Hoewel dat op het totaal aantal deeltjes natuurlijk nog altijd zeer weinig ozonmolekulen zijn, is hun betekenis voor de dampkring zeer groot, omdat ze het temperatuursverloop en de hoeveelheid en aard van de zonnestraling die wij ontvangen beïnvloeden. Ozon houdt namelijk het ultra-violette zonlicht tegen en maakt het dus de astronomen onmogelijk vanaf de grond zon of sterren in dat soort licht te zien!

De ozonlaag houdt het ultraviolette zonlicht tegen, de ionosfeer (daarover straks meer) allerlei soorten radiostraling. Daarnaast bevindt zich op de meeste plaatsen op aarde in de at-

mosfeer een behoorlijke hoeveelheid waterdamp (zeker in ons land) en die houdt weer voornamelijk infrarood zonlicht tegen. Ook de zuurstof, een der belangrijkste bestanddelen van onze dampkring, is een gas, dat bepaalde soorten zonlicht bijna volkomen de doortocht belet. Is er daarenboven een gesloten wolkendek aanwezig, dan houdt dat de infrarode en de warmtestraling haast geheel tegen. Overdag verhindert het dan dat het aardoppervlak door de zonneschijn verwarmd wordt, maar 's nachts bedekt het diezelfde aardbodem als een beschermende deken en verhindert de uitstraling van de warmte in de zoveel koudere wereldruimte. Het voorkomt een sterke daling van de temperatuur en draagt daardoor in belangrijke mate bij tot de toestand van het klimaat ter plaatse.

Alle straling, die de hemellichamen uitzenden, licht, radio, ultraviolet licht en alle verdere soorten straling, die men kent, zijn te onderscheiden door hun golflengte. Zo'n overzicht noemt men een spektrum. Niet iedere ster of planeet zendt al deze stralingen uit en ook niet van alle soorten evenveel. Voorlopig is het van belang te weten, dat de deeltjes waaruit de lucht bestaat ook bepaalde soorten van die straling, dus smallere of bredere golflengtegebiedjes, tegenhouden en absorberen. Men spreekt dan van *selektieve absorptie*, omdat die luchtmolekulen een bepaalde keus doen en een soort selektie uitoefenen, waarbij ieder soort gas nog weer zijn eigen smaak heeft en zijn eigen portie straling uitkiest. Zuurstof absorbeert andere kleuren en golflengten dan ozon en dit weer andere dan waterdamp. Bovendien maakt het ook groot verschil of het zuurstof in molekulaire of in atomaire vorm is. Daardoor komt het, dat een groot deel van de straling, zoals de ultraviolette en infrarode golflengten, niet door de dampkring kan heendringen, terwijl bovendien de geïoniseerde lagen, zoals wij zullen zien, grote stukken van het radiospektrum tegenhouden. Alleen in het zichtbare gebied bevindt zich een smal venster en in het radiogebied een breder. Ook hier bemoeilijkt de dampkring de astronomen echter nog de hemellichamen waar te nemen.

De sterrekunde ondervindt heel wat problemen door het bestaan en de invloed van de atmosfeer. Alle op aarde opgevangen straling, die door de atmosferische vensters heendringt, wordt niet zomaar doorgelaten maar ook nog in intensiteit verminderd.

Deze vermindering of *extinctie* wordt onderscheiden in twee soorten, de *absorptie* en de *verstrooiing*. Door een hemellichaam op verschillende hoogten waar te nemen is men in staat de extinctie te bepalen. Immers de verzwakking is sterker naarmate de straling een langere weg door de luchtlagen aflegt.

Naast de absorptie van de straling, die ontstaat doordat de luchtdeeltjes een deel van de opvallende straling in warmte omzetten, is er ook nog echte verstrooiing, die optreedt als de luchtmolekulen door licht worden getroffen. In dat geval kan het luchtdeeltje het licht in alle richtingen verstrooien, maar niet in elke richting even sterk. Rayleigh was de man, die dit verschijnsel nauwkeurig onderzocht en er wetten voor opstelde. Blauwe lichtstralen worden veel sterker verstrooid dan rode en daardoor wordt het blauwe zonlicht grotendeels weggefilterd en in alle richtingen over de hemel verstrooid. Dat verklaart de blauwe kleur van de hemel overdag. Men verwachtte dan ook, dat de ruimtevaarders op grote hoogte de hemel niet meer blauw, maar zwart zouden zien, omdat ze zich boven de dampkring bevinden. Ook op de maan waar geen dampkring aanwezig is, is de hemel zwart. De sterren kunnen dan zichtbaar zijn, tenminste wanneer we ons ver genoeg van het heldere zonlicht verwijderen. De ondergaande en de opkomende zon op aarde hebben ook een rode kleur, omdat de blauwe straling er uit verstrooid is. Rode lichtstralen dringen ver en gemakkelijk door de dampkring heen – infrarode nog beter en daarom voorziet men bepaalde kunstmanen van infrarood-sensors om de horizon van de aarde onder alle omstandigheden door de dampkring heen zo goed mogelijk te kunnen waarnemen.

Af en toe verschijnen aan de nachtelijke hemel vallende sterren of *meteoren*. Een meteoor is een lichtbaan van een *meteoroïde*, een klein deeltje, dat zich door de wereldruimte vrij voortbeweegt langs haar eigen baan en dat uit steen of nikkel-ijzer bestaat. Dringt het de aardatmosfeer binnen dan veroorzaakt het lichteffekten; we zien een meteoor. Iedere nacht kan men wel meteoren waarnemen, maar op sommige, vaak regelmatig terugkerende tijdstippen ziet men er veel meer. In het laatste geval hebben we meestal met een meteoorzwerm te maken, in het eerste spreekt men van sporadische meteoren. Gedurende de laatste decennia zijn in Amerika regelmatig meteoren waarge-

nomen met zeer lichtgevoelige Super-Schmidt kamera's. Alle meteoroïden lopen in ellipsbanen en behoren tot ons zonnestelsel. Interstellaire meteoren zien we niet. De hoogte waarop de meteoroïden oplichten bevindt zich meestal tussen 80 en 120 km. Wanneer ze in deze lagen binnendringen veroorzaken ze ionisatie; ze botsen met luchtdeeltjes en slaan uit de atomen kleine brokjes, de elektronen, weg. Zo'n elektron is negatief geladen. Het overgebleven deel van het atoom heet ion en is positief geladen. Een vanaf de aarde uitgezonden radarstraal wordt door het spoor van geïoniseerde deeltjes teruggekaatst. Die radarecho's van meteoren worden vaak waargenomen en daaruit kan men de snelheid van de meteoroïd berekenen. Daar men met radar ook overdag en bij bewolking kan werken, is het mogelijk hiermee de meteoren op grotere schaal te bestuderen. Op deze manier ontdekte men, dat ook overdag soms zeer aktieve meteoorzwermen de dampkring binnendringen.

Zeer grote brokken steen of metaal kunnen tot zeer heldere meteoren aanleiding geven; men spreekt dan van een vuurbol of *bolide*. Nog grotere exemplaren lukt het tot op het aardoppervlak door te dringen; als deze later worden gevonden noemt men ze *meteorieten*. Er zijn twee soorten: steen- en ijzermeteorieten.

Behalve de vallende sterren, die we met ons blote oog kunnen zien, bestaan er nog veel zwakkere, de *teleskopische meteoren*, die we met zeer lichtsterke kijkers soms toevallig kunnen zien. Zijn de in de atmosfeer binnendringende deeltjes kleiner dan 0,0003 cm, dan kunnen ze zelfs geen lichtverschijnsel in een kijker meer veroorzaken. Ze worden geremd voordat ze licht kunnen geven, verdampen niet (zoals de gemiddelde meteoroïd) maar dwarrelen als stof naar beneden. Een deel van deze *mikrometeorieten* is magnetisch en kan tussen het aardse stof worden opgezameld. Met behulp van balonnen kan men dit stof ook op grote hoogte verzamelen. Dit heeft men bijvoorbeeld gedaan met deeltjes, behorend tot de grote meteoorzwermen, die de aarde geregeld ontmoet. Is de zwerm nog jong of treffen wij een zeer kompakt gedeelte van een oudere, dan ontmoet de aarde heel veel meteoroïden; deze dringen met snelheden van enige tientallen kilometers per sekonde onze dampkring binnen. Zo ontstaan soms fantastische sterrenregens.

We bespraken in hoofdstuk I hoe in april 1946 begonnen werd

met het wetenschappelijk onderzoek van de dampkring, aanvankelijk met V 2-raketten van Duitse origine (pl. 1). De kop, waarin de explosieven geplaatst moesten worden, verving men door een kapsule met instrumenten. Zodra de raket voldoende was gedaald, werd de kapsule losgemaakt van de raket en ging zij per parachute naar de aarde terug. Men ging proeven nemen om de samenstelling van de atmosfeer op grote hoogte na te gaan, en de wind en de daar heersende temperatuur en druk te meten. Later werd dit programma aangevuld door de lancering van Aerobees en Vikings.

Hoewel weer, wind en wolken in de troposfeer hun domein hebben, blijkt de atmosfeer tot op zeer grote hoogte allerminst in rust. Af en toe verschijnen er aan de nachtelijke hemel zeer heldere meteoren, die nalichtende sporen achterlaten, die verscheidene sekonden en soms minuten lang waarneembaar zijn. Die lichtsporen blijken meestal in die korte tijd snel van vorm te veranderen en daaruit trok men de konklusie dat er voortdurend zeer krachtige luchtbewegingen zijn, waarbij ook *turbulentie* optreedt. De windsnelheden liggen gemiddeld tussen de 180 km/h op 80 km hoogte en 1800 km/h op 700 km hoogte.

Met behulp van raketten werden de atmosferische druk en dichtheid gemeten tot op 160 km hoogte. Door in stalen flessen monsters te verzamelen van de lucht, trachtte men haar samenstelling te onderzoeken. Tot 100 km hoogte bleek de samenstelling in ieder geval gelijk te zijn aan die op de begane grond.

Reeds in 1943 was Whipple uit een bestudering van de meteoren tot de konklusie gekomen, dat de atmosferische dichtheid in de atmosfeer seizoenvariaties moest ondergaan. Uit het verloop van de helderheid van een meteoorspoor kan men namelijk de atmosferische dichtheid afleiden. Blijkbaar heeft de zon grotere invloed op de toestand in de hogere luchtlagen dan men aanvankelijk had gedacht. Het is interessant, dat de latere metingen met raketten en kunstmanen dit zo duidelijk hebben bevestigd. Bij zo'n groot seizoeneffekt moet ook een duidelijke verandering van de temperatuur tot op grote hoogten optreden.

Uit de mogelijkheid radiozenders te ontvangen die zo ver van de ontvanger afliggen, dat ze onmogelijk regelrecht te ontvangen zouden zijn, bleek dat er op grote hoogten in onze dampkring geïoniseerde lagen moeten bestaan. Hieraan is de naam *ionosfeer*

ontleend. De ultraviolette zonnestraling, die wel tot de hogere lagen van de atmosfeer vrije toegang heeft, ioniseert bepaalde daar voorkomende atomen of molekulen zeer sterk, waardoor ze geïoniseerd worden. Zo zijn er op bepaalde hoogten gebieden, waar de dichtheid van ionen en elektronen groter is en deze noemt men de D-, de E-, de F_1- en de F_2-laag. De radiostraling van bepaalde golflengten wordt tegen een van die lagen teruggekaatst, ongeveer zoals de lichtstralen tegen een spiegel: zo kan ze veel verder over de aarde reiken. Een dergelijke radiostraling van zon en sterren kan natuurlijk evenmin door de ionosfeer heenkomen en daarom is het niet mogelijk die hemellichamen waar te nemen in het radiogebied waarin onze radiozenders werken. De radioastronoom werkt daarom vanaf het aardoppervlak op kortere golflengten, die wel door de ionosfeer heendringen.

Naarmate men hoger doordrong in de atmosfeer bereikte men lagen waarin zich processen afspeelden, waarover men tot voor de tijd der raketten slechts theoretische gegevens bezat. Op een bepaalde, grote hoogte wordt de dichtheid zo gering, dat de zuurstof niet meer in molekulaire vorm voorkomt, maar slechts als aparte zuurstofatomen. Zou er geen menging plaatsvinden door turbulentie – zo berekent men – dan zou het overgangsgebied zich op 100 km hoogte moeten bevinden. Raketonderzoek door Friedman en zijn medewerkers bewees, dat er geen scherp overgangsgebied is. Ook bleken er boven de 100 km seizoeneffekten te zijn, waardoor de koncentratie van de zuurstofmolekulen daar in de winter groter is dan in de zomer (op ons noordelijk halfrond). Het overgangsgebied valt samen met de E-laag en houdt verband met het bestaan en de vorming daarvan. Johnson, Purcell, Pusey en Watanabe publiceerden gegevens, verkregen met raketten, over de distributie van de ozon op verschillende hoogten. De verspreiding in de lagere stratosfeer en de aanwezigheid in de troposfeer zijn met een evenwichtstheorie niet te begrijpen. Voor de werkelijke distributie moet rekening gehouden worden met de atmosferische bewegingen.

De dissociatie van de zuurstofmolekulen is het gevolg van het ver-ultraviolette zonlicht. Een dergelijke *fotodissociatie* voor stikstof schijnt minder gemakkelijk te gaan. Pas in de F_1-laag kunnen zich misschien direkt stikstofatomen vormen uit de molekulen,

maar de zon levert slechts weinig straling van de daarvoor benodigde golflengte. Daar de ultraviolette straling die deze atomen produceert sterk van de zonneaktiviteit afhangt, zal de hoeveelheid atomaire stikstof sterk aan veranderingen onderhevig zijn. Door de zeer geringe dichtheid op die grote hoogten is de kans dat stikstofatomen elkaar weer zullen ontmoeten en rekombineren tot molekulen zeer klein.

Sommige atomen, die overdag zonnestraling hebben opgevangen, sparen die als het ware op en stralen ze 's nachts weer uit. Bevinden we ons dan ook zeer ver van alle kunstverlichting en is het een volkomen heldere nacht zonder maanlicht, dan zien we dat de nachtelijke hemel tussen de sterren niet volkomen donker is, maar een zeer zwak soort straling uitzendt: het *licht van de nachthemel*. Dit is gedeeltelijk afkomstig van ontelbaar vele zeer zwakke sterretjes, die individueel voor ons oog niet meer te onderscheiden zijn, maar gezamenlijk toch nog wel wat licht geven. Daarnaast geeft de dampkring ook opgespaard zonlicht als eigen straling terug. Door dit met spektrografen te bestuderen, kreeg men een verbeterd inzicht in de bouw van de hoge atmosfeer.

Tevens wordt de nachtelijke hemel in streken op hogere breedte dikwijls verlicht door de grillige lichtcontouren van het *poollicht*. Dat soms zeer kleurrijke schouwspel speelt zich af op hoogten tussen 80 en 1000 km, hoewel het zich meestal beperkt tot lagen tussen 90 en 120 km. Evenals bij meteoren zijn de hoogten bepaald door simultane waarnemingen vanuit verschillende plaatsen op aarde. Ook de bewegingen van het poollicht geven ons informatie over de windsnelheden in de hoge dampkring.

Door de zon verlichte poollichtbundels strekken zich soms tot 1000 km hoogte uit. Deze ontstaan door in de atmosfeer binnendringende kleine deeltjes, voornamelijk protonen waterstofkernen, die langs hun baan geïoniseerde stikstofmolekulen produceren, die de zonnestraling verstrooien. Deze verschijnselen gaven vóór het ruimtevaarttijdperk al een duidelijke aanwijzing voor het feit, dat de atmosfeer van de aarde zich tot zeer grote hoogten uitstrekt. Zo hoog, dat men zich afvroeg: waar zou de grens van de dampkring liggen?

Stoney opperde aan het einde van de vorige eeuw het eerst het denkbeeld van het bestaan van de *exosfeer*. Jeans, Mitra en vele anderen hebben die theoretische onderzoekingen verder uitge-

breid. Een gas bestaat uit een zeer groot aantal kleine deeltjes, de atomen (of molekulen), die voortdurend in beweging zijn. Hoe hoger de temperatuur, hoe sneller de deeltjes bewegen. Bij die bewegingen botsen zij geregeld op elkaar. De gemiddelde weg die een deeltje aflegt tussen twee botsingen noemt men de *vrije weglengte*; hoe ijler het gas is, hoe groter die zijn kan. Omdat de zwaartekracht echter elk deeltje naar beneden trekt, zal het aantal deeltjes dat zich dichter bij de grond in 1 cm^3 ophoudt, groter zijn dan het aantal op grotere hoogte. Dit verklaart het afnemen van de atmosferische dichtheid, maar tevens het verband met de temperatuur. Op zeer grote hoogte is de atmosfeer tenslotte zo ijl, dat een deeltje na een botsing met een ander atoom zonder verdere botsingen een vlucht omhoog en terug kan maken (als een miniatuurraket). Het niveau, waarop en waarboven dit kan, heet het *kritische niveau*. Boven dit niveau is de atmosfeer isotherm en heeft zij dus een konstante temperatuur. Voor ionen en elektronen begint de exosfeer op grotere hoogte. Geladen deeltjes kunnen alleen vrij langs magnetische veldlijnen bewegen en daarom zal de hoogte van de exosfeer afhangen van de geomagnetische breedte van de plaats op aarde.

De exosfeer werd beschouwd als de grens van de aardse dampkring en het is speciaal het ruimtevaartonderzoek, dat hier merkwaardige nieuwe vondsten heeft opgeleverd. Alle waarnemingsgegevens over die lagen zijn eigenlijk pas in de laatste tien jaar verzameld. Hoe vreemd het ook moge schijnen, in deze streken van de atmosfeer is de invloed van de zon bijna even groot als die van de aarde.

De zon bevindt zich 150000000 km van de aarde. We zien haar als een schijfje met een middellijn van 32′. Daaruit kan men berekenen, dat de diameter van die lichtbol 1400000 km is. Onophoudelijk zendt zij in alle richtingen straling uit. De totale hoeveelheid straling, die in één minuut op 1 cm^2 van het aardoppervlak wordt gemeten, noemt men de zonnekonstante. Het is een maat voor de door de zon uitgezonden hoeveelheid energie. Nu wordt die zonnestraling door de dampkring van de aarde voor een deel tegengehouden. Hoewel men door vernuftige redukties toch kan nagaan hoeveel de oorspronkelijke hoeveelheid buiten de atmosfeer geweest moet zijn, is het eenvoudiger zo'n meting boven de aardse dampkring in een kunstmaan te verrichten.

Uit de zonnekonstante weet men hoeveel energie de zon iedere sekonde produceert. In de loop der miljoenen jaren is deze produktie zeer regelmatig op peil gebleven. Kernprocessen diep in het zeer hete zonnelichaam maken bij miljoenen graden warmte de enorme hoeveelheden energie vrij. Naar buiten toe neemt de temperatuur in de zonnebol af. Aan de rand van de *fotosfeer* (dat is de voor ons zichtbare zonneschijf) bedraagt ze echter nog 6000°. Bekijken we een foto van de zon, dan zien we dat de helderheid op de schijf van het midden naar de rand toe afneemt. Deze randverzwakking verklaart men door aan te nemen, dat de temperatuur toeneemt met de diepte in de zon. Met behulp van zeer nauwkeurige metingen, in verschillende soorten licht, kan men de toestanden in de hoogste lagen van de fotosfeer nauwkeurig bestuderen.

Bij zeer scherpe opnamen vertoont de fotosfeer een korrelige struktuur. Deze granulatie is in de afgelopen jaren zeer mooi gefotografeerd vanuit ballonnen, die boven de onderste lagen van onze dampkring zweefden. Verder ziet men in de fotosfeer soms ronde of onregelmatige donkere vlekken, die zelden enkelvoudig, dikwijls in paren, vaak ook in groepen optreden. Dit zijn de zonnevlekken, die donker lijken tegenover de zoveel helderder fotosfeer er omheen. Zij bevatten gassen die aanmerkelijk minder heet zijn dan hun omgeving. Zoals de depressies in de dampkring van de aarde leiden ze geruime tijd een soms stabiel, soms wisselvallig leven. Uit hun bewegingen heeft men gekonkludeerd dat de zon in 27 dagen om een as wentelt, maar bovendien verplaatsen de vlekken zich ook zelf wel enigszins. Na korte of langere tijd verdwijnt de vlek of verandert de groep vlekken volledig van vorm. Nieuwe vlekken ontstaan, oudere verdwijnen. Deze vlekken zijn symptomen van storingsgebieden.

Ontleedt men het licht van de vlekken met sterke spektrografen, dan blijkt uit de spektraallijnen, dat er zich in en rondom de vlekken magnetische velden bevinden. Vaak is bij een vlekkenpaar de ene de noordpool, de andere de zuidpool. Bij een groep is dat ingewikkelder.

De zon bestaat, behalve uit de fotosfeer, nog uit andere, ijlere gaslagen. Ze vormen allereerst de *chromosfeer* en daarbuiten de *corona*. Bij totale zonsverduisteringen, als de maan de zonneschijf enkele sekonden volkomen bedekt, kan men die ijle lagen vanaf

de aarde direkt waarnemen. Kostbare expedities naar zo'n verduisteringszone zijn daarvoor nodig. Dikwijls ziet men dan in de chromosfeer aan de rand van de zon enkele vlamachtige uitsteeksels omhoogsteken, die *protuberansen* worden genoemd. Toen men er in slaagde met behulp van de spektrohelioskoop en later met behulp van monochromatische filters ook buiten de periode van een eklips de protuberansen waar te nemen, breidde onze kennis van de buitenlagen van de zon zich snel uit. Protuberansen zijn gasmassa's van enkele tienduizenden kilometers hoog en maximaal 6000 km breed. Van opzij gezien hebben ze meestal een boogvorm. Voor de heldere zonneschijf zijn ze te zien als donkere *filamenten*. Ze bevinden zich vaak in de omgeving van gebieden van zonnevlekken.

In die *storingsgebieden*, die meestal vergezeld gaan van vlekken, ontdekte men soms plotseling heldere lichtpuntjes, die slechts 0,5 tot 2 uur bleven bestaan. Dit zijn de *zonnevlammen*, die het middelpunt schijnen te zijn van sterke storingen, zoals blijkt uit naburige filamenten, die soms na het optreden van zo'n vlam verdwijnen en later weer in hun oude vorm terugkeren. Ook heeft een vlam ongetwijfeld grote invloed op de ijlere gaslagen erboven. Deze liggen in de corona, het buitenste deel van de zon, dat bestaat uit een zeer heet gas met een temperatuur van ongeveer een miljoen graden, waardoor de atomen sterk geïoniseerd zijn. De corona bevat dan ook veel vrije elektronen. Vooral in het gebied van de radiostraling van 1 cm tot 10 m golflengte is de corona duidelijk waar te nemen en vertoont hier een konstante en een veranderlijke komponent.

Zo gaan van deze storingen op de zon soms diverse soorten stralingen uit. Daarnaast is er een konstante stroom van straling van de rustige, ongestoorde zon. Beide bereiken dagelijks de planeten, waaronder de aarde. Allereerst is daar het gewone zichtbare licht, maar ook zijn er ultraviolette, infrarode en warmtestraling en de reeds genoemde radiostraling. Daarnaast is er de emissie van de storingsgebieden, die ook een stroom geladen deeltjes de wereldruimte insturen. Deze corpuscula (ook wel corpusculaire straling genoemd) hebben weliswaar een zeer grote snelheid, maar toch een veel kleinere snelheid dan het licht. Duurt de reis van de zon naar de aarde voor het licht ongeveer 8 minuten, de corpuscula zijn veel langer onderweg (1 à 2 dagen).

Zij bestaan grotendeels uit kernen van waterstof, protonen met een positieve lading, maar ook heliumkernen zijn aanwezig. Zij bereiken ook de aarde en veroorzaken daar allerlei effekten.

De aarde heeft, zoals wij weten, een magnetisch veld. De magnetische noordpool (natuurkundig eigenlijk een zuidpool) bevindt zich in Noordoost-Canada. De sterkte van het aardmagneetveld varieert van plaats tot plaats. Boven Zuid-Amerika en de Zuidelijke Atlantische Oceaan bevindt zich een minimumgebied van het aardmagneetveld. Op een bepaalde plaats vindt men regelmatig variaties in de sterkte van het gemeten magneetveld, ook als deze meting in een storingsvrij geomagnetisch station gebeurt. Dit zijn variaties van kleine orde; storingen van groot formaat en van lange duur echter worden *magnetische stormen* genoemd. Ze worden overal op aarde gelijktijdig geregistreerd en het optreden ervan valt samen met grote aktiviteit van de zonnevlekken. De oorzaak ervan hangt samen met de storingsgebieden op de zon. Men vermoedt, dat zo'n storm wordt veroorzaakt door een stroom corpuscula (een plasmawolk), die de omgeving van de aarde bereikt. Een dergelijke stroom geladen deeltjes is te vergelijken met de door een draad lopende elektrische stroom. Wij weten, dat zo'n stroom een magneetveld opwekt, dat het aardmagneetveld belangrijk kan storen. Sterke stromen van ultraviolette en zelfs van röntgenstraling tijdens de eruptie vergroten de ionisatie van de aardse ionosfeer. Er treedt een geïoniseerde laag op onder in de dampkring, de D-laag, die een storing in de radio-ontvangst en in het radiotelefonische verkeer veroorzaakt. Zo'n *fade-out* verhindert het radioverkeer over grote afstanden en gaat aan magnetische stormen vooraf.

Het aantal zonnevlekken is niet altijd even groot. In sommige jaren zijn er zeer weinig, in andere weer veel meer. Men kan er een periodiciteit in ontdekken met een periode van gemiddeld omstreeks elf jaar. Niet alleen de zonnevlekken, maar ook alle andere verschijnselen op de zon, die met de storingsgebieden samenhangen, vertonen een soortgelijke periodiciteit. De oorzaak van deze periode is nog onbekend. Ook de aardse poollichten en de magnetische stormen hebben een elfjarige periode.

Een verklaring van het poollicht is uitgewerkt door de Noor Störmer. Hij berekende de banen van de geladen deeltjes van de zon in het magneetveld van de aarde. Hij vond inderdaad, dat de

poollichten in gordels om de magnetische polen moesten optreden, maar de door hem berekende gordels van het poollicht zijn verder van de polen verwijderd dan de waargenomen gebieden.

De door de zon bij storingen uitgezonden corpuscula vormen een *plasma*, dat is een gasmassa, bestaande uit geladen deeltjes, elektronen en ionen, die in dit geval magnetische velden met zich meeslepen. Van een dergelijke plasma heeft men de afgelopen jaren een uitgebreide studie gemaakt; de plasmafysika is een apart onderdeel van de natuurkunde geworden. De plasmawolken van de zon reiken tot ver in het zonnestelsel, zodat de vraag tot hoever de zon reikt hier een onverwacht maar zeer interessant antwoord krijgt: de zon reikt tot de aarde en nog veel verder, vrijwel zeker tot Jupiter toe. Pas de ruimtevaart heeft ons een duidelijk inzicht gegeven in de grensgebieden van zon en aarde in die streken, waar het zonneplasma de aardse *magnetosfeer* ontmoet, zoals de buitenste regionen van de dampkring van de aarde nu vaak worden genoemd. Met behulp van de ruimtevaart zijn we er in doorgedrongen.

vijfde hoofdstuk

spoetniks verrassen de wereld

De Russen kregen een erfenis – De eerste Spoetnik – Ook de raket draaide om de aarde – De wrijving van de lucht – De baan verandert – Het uiteindelijke lot van een kunstmaan– De hond Laika was de eerste ruimtereiziger – De eerste wetenschappelijke resultaten – Hoe vindt men de dichtheid van de atmosfeer? – Het einde van Spoetnik 2 – Sterke invloed van de zon op de atmosfeer ontdekt – Zonnevlammen storen Spoetnik 3 – Het probleem van de veilige terugkeer naar de aarde – De eerste landing faalde – Twee hondjes keren per parachute terug – De eerste slachtoffers – Venusverkenning mislukt – Het probleem van de terugkeer schijnt opgelost.

Op 4 oktober 1957 werd de eerste Spoetnik gelanceerd en dat was dan het begin van het ruimtevaarttijdperk. De Duitse raketdeskundigen, die bij de ineenstorting van het Derde Rijk het proefstation Peenemünde in allerijl verlieten, vluchtend voor de naderende Russische legers, hadden geen tijd gehad hun werktekeningen te vernietigen. Technici en arbeiders van de basis vielen met het uitgebreide archief in handen van de Russen en zij zagen onmiddellijk het reusachtige belang van deze buit in. Met behulp van de zo goedkoop verworven kennis ontwikkelden zij in alle stilte nieuwe reusachtige raketten, in een tijd dat in Amerika leger, vloot en luchtmacht aan het touwtrekken waren om de leiding in de ontwikkeling van het kunstmaanprojekt, dat daar in het kader van het Internationale Geofysische Jaar was aangekondigd.

Zo was de onverwachte komst van de eerste Spoetnik (pl. I) een enorme verrassing en een propagandastunt van de eerste rang. Ergens in Centraal-Azië ten oosten van de Kaspische Zee werd zij op de avond van die vierde oktober gelanceerd met een drietrapsraket. In de eerste twee minuten voerde deze de snelheid met haar eerste trap op tot 2 km/sek. Nadat de eerste trap was weggevallen, werd de raket onder 45° gedraaid en toen ook de tweede trap haar plicht gedaan had, was de snelheid reeds 5,3

km/sek. Op dat moment ontbrandde de derde trap, die de snelheid tot 8 km/sek. opvoerde. Nu werd de satelliet uitgeworpen, een bol met een diameter van 57 cm en een gewicht van bijna 84 kg. Deze liep in 96 minuten om de aarde en bereikte een maximale hoogte van 945 km. De baan was een ellips, die in haar perigeum slechts 230 km boven de aarde uitstak.

Een in de kunstmaan gebouwde zender met een vermogen van 1 watt zond gedurende 0,3 sek. een puls uit, gevolgd door 0,3 sek. pauze en daarna opnieuw een puls, en zo voort. Gedurende vier à vijf dagen werkte de zender op twee golflengten, namelijk 7,5 en 15 m. Drie brokken bewogen aanvankelijk in dezelfde baan, de satelliet, de derde trap van de raket en de lege neus, die de satelliet bij het opstijgen tegen de wrijving en verhitting door de aardatmosfeer beschermde. De Spoetnik zelf was een aluminium bol, die gevuld was met stikstofgas en uitgerust met vier antennesprieten van 2 tot 3 m lang. Bij het lanceren zaten deze tegen het raketlichaam gevouwen. Nadat de neus was afgeworpen ontvouwden zij zich.

De raket van de Spoetnik I verdween op 1 december 1957 om 0^h12^m op 171 km hoogte. Haar omlooptijd was toen nog maar 88 minuten. Deze zoveel kortere periode was een gevolg van de storende invloed van de luchtweerstand waaraan een dergelijk voorwerp blootgesteld is.

De wrijvingskracht die op een satelliet werkt hangt samen met de snelheid v en de dichtheid van de lucht ϱ. We stellen dat:

$$F = \varrho A v^2 \qquad (9),$$

waarin F de kracht voorstelt en A een grootheid is die afhankelijk is van de oppervlakte van de doorsnede van de kunstmaan. Bij een bol bedraagt die doorsnede steeds πr^2, maar bij een kegel of een cilinder hangt A van de bewegingsrichting af. Daar de dichtheid van de atmosfeer met de hoogte afneemt, neemt ook de wrijvingskracht met de hoogte af. Hoe hoger de baan ligt, hoe langer de satelliet daarom kan blijven bestaan. Hij zal dan een langere levensduur t_L bezitten. De wrijvingskracht zal het sterkst werkzaam zijn in het laagste punt van de baan, bij het perigeum. Daar zal de satelliet vertragen en zal haar snelheid verminderen. Terwijl de perigeumhoogte zeer weinig vermindert, neemt de apogeumhoogte sterker af (fig. 10). De ellips die

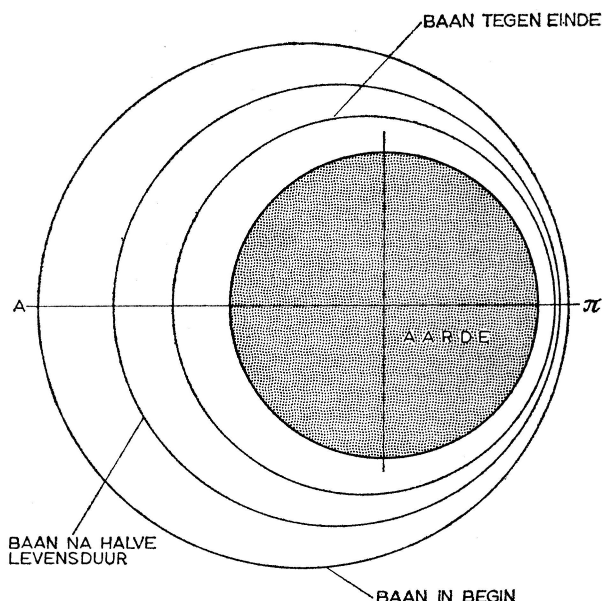


Fig. 10 De verandering van een baan van een kunstmaan door de weerstand van de lucht volgens King-Hele.

de kunstmaan beschrijft, wordt minder langgerekt, haar excentriciteit e neemt af. Noemen we de perigeumafstand a_P en de apogeumafstand a_A dan is $e = c/a$ en $a_P = a - c$ en $a_A = a + c$. Hieruit is na te rekenen dat bij afnemende apogeumafstand de excentriciteit afneemt.

Ook de omlooptijd neemt af. Uit de derde wet van Kepler (8), volgt, dat voor een aardsatelliet de omlooptijd T in minuten te berekenen is met de formule:

$$T = 84.4 \left(\frac{a}{R}\right)^{3/2} \tag{10}$$

Hierin is R de straal van de aarde. Een tamelijk goede schatting van de levensduur van de kunstmaan kan men volgens King-Hele krijgen door te berekenen:

$$t_L = 0,9 \frac{e_0 T_0}{2x} \tag{11}$$

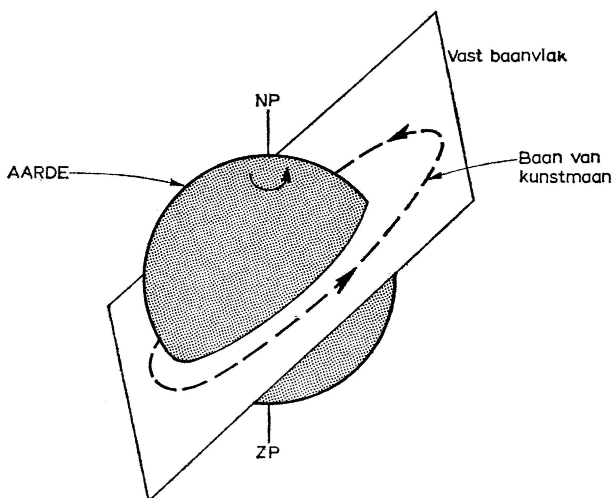


Fig. 11 Als de aarde volkomen bolvormig was, zou het baanvlak van een kunstmaan, dat door het middelpunt van de aarde gaat, vast blijven. Door de afplatting aan de polen is dit niet het geval.

Hierin is e_0 = de excentriciteit van de baan in het begin,
T_0 = de omlooptijd in het begin,
x = de dagelijkse afname van de omlooptijd in minuten.

Als de aarde een volmaakte bol was en als de aantrekkingskracht van zon, maan en planeten verwaarloosd kon worden, zou de baan van de kunstmaan blijven liggen in het vlak, waarin zij bij haar lancering was terechtgekomen (fig. 11). Dit vlak gaat door het middelpunt van de aarde. Alleen de atmosferische vertraging zou dan de baanvorm in dat vlak (hoofdzakelijk de excentriciteit) wijzigen. Onder de kunstmaan, die in dat vlak haar baan beschrijft, draait de aarde om haar as. De eerste Spoetnik had een omlooptijd van 96 minuten en in die tijd draait de aarde $96 : (24 \times 60) = 1/15$ deel van haar dagelijkse rondje, dat is dan 24°. De op de aarde geprojekteerde baan van de satelliet schuift dus na een omwenteling 24° naar het westen (fig. 12). Het baanvlak maakte een vaste hoek van 65° met de evenaar en daarom bewoog de Spoetnik tussen bepaalde geografische breedteparallellen.

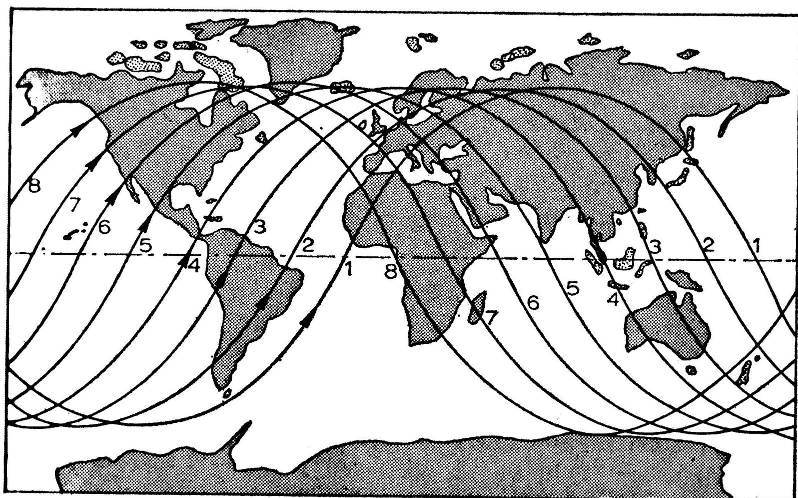


Fig. 12 Door de aardrotatie was de aarde na een omloop van de Spoetnik 24° onder de baan van deze kunstmaan naar het oosten verder gedraaid. De kunstmaan passeert na iedere omloop daardoor over 24° westelijker gelegen streken.

Uiteindelijk wordt de excentriciteit van de baan zeer gering en, evenals bij kunstmanen die onmiddellijk in een cirkelvormige baan zijn terechtgekomen, begint nu de wrijvingskracht de snelheid te verminderen; langzaam begint de kunstmaan langs een spiraalvormige baan steeds dichter naar de aarde toe te cirkelen. Op een hoogte van ongeveer 150 km, als de omlooptijd omstreeks 88 minuten bedraagt, wordt de wrijving zo groot, dat de kunstmaan heet begint te worden en tenslotte als een lichtgevende vuurbol zijn leven kan eindigen. Zou zij deze verhitting overleven, zoals sommige meteorieten of zoals bemande ruimteschepen, die tegenwoordig voorzien zijn van een hitteschild, dan zal tenslotte de wrijving zo groot worden, dat de snelheid praktisch tot nul wordt gereduceerd; de satelliet valt dan bijna vertikaal naar beneden met een zeer geringe snelheid.

De Spoetnikbol werd nog tot in januari 1958 waargenomen. Signalen uitgezonden door een zender op aarde en gereflekteerd door de bol werden door Kraus in Amerika opgevangen. Op 4 januari vond hij een groot aantal reflekties bij het passeren van de kunstmaan. Blijkbaar was de bol in stukken gebroken. Reeds de volgende dag liepen die uiteen in verschillende banen, omdat

ze blijkbaar een verschillende oppervlaktedoorsnede hadden. Op 6 januari konstateerde Kraus zelfs acht stukken en zo verbrokkelde de eerste Spoetnik.

Intussen was echter alweer een tweede Spoetnik gelanceerd op 3 november 1957. Aan boord van deze kabine bevond zich de eerste ruimtereiziger, de hond Laika. De satelliet bleef vast aan de laatste trap van de raket; slechts het deksel werd afgestoten en zweefde los in de ruimte. De Spoetnik had een kegelvorm en woog 508 kg. Tussen 225 en 1670 km hoogte beschreef de kunstmaan een ellipsvormige baan.

De eerste wetenschappelijke resultaten werden afgeleid uit de vertraging van de beide Spoetniks. Uit formule (9) zien we, dat de wrijvingskracht evenredig is met de atmosferische dichtheid. Deze wrijvingskracht veroorzaakt een vertraging (afhankelijk van de massa van de satelliet, want kracht is massa maal vertraging) en daardoor vermindert de snelheid, de halve grote as van de baan en dus ook de omlooptijd van de kunstmaan. Is ombekend, door intensieve regelmatige waarnemingen, hoe de omlooptijd afneemt, dan kunnen we daaruit de wrijvingskracht en zo de dichtheid van de atmosfeer berekenen.

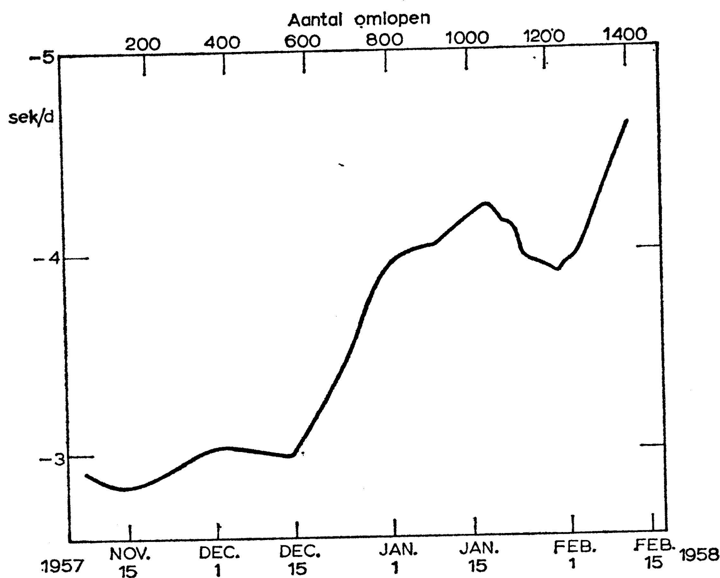


Fig. 13 De verandering in de anomalistische omlooptijd van Spoetnik 2.

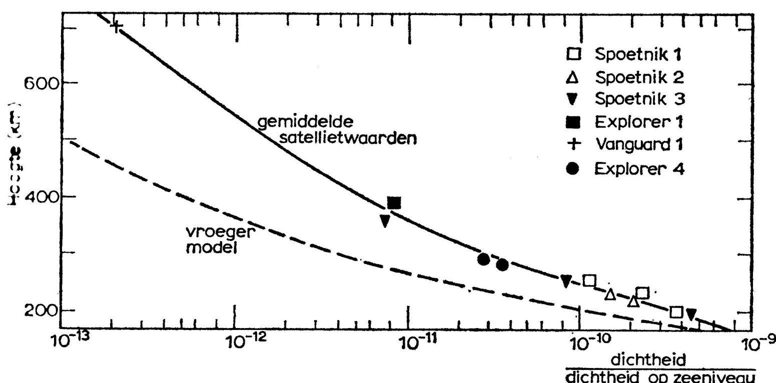


Fig. 14 De eerste waarnemingen door satellieten veranderen de tot dat tijdstip aangenomen dichtheidsvariatie met de hoogte ingrijpend (de horizontale schaal is logaritmisch).

De formule voor de wrijvingskracht is theoretisch afgeleid en getest in windtunnels en bij vluchten in de atmosfeer onder omstandigheden, die wel enigszins afwijken van die waarin een kunstmaan zich bevindt. Ook is er enige onzekerheid over de in de formule voorkomende factor A als de satelliet geen bolvorm heeft. Dit verklaart misschien de in fig. 13 afgebeelde onregelmatige fluktuaties in de vertraging van de Spoetnik 2. De op deze wijze afgeleide dichtheden zijn dan uit de aard der zaak ook niet volkomen vlekkeloos.

Onderstaande tabel geeft een indruk van de gevonden waarden, terwijl in figuur 14 een aantal metingen zijn weergegeven (niet alleen van de eerste drie Spoetniks, maar ook van enkele Amerikaanse kunstmanen).

hoogte in km	*dichtheid* (g/cm³)
0	$1{,}3 \times 10^{-3}$
160	$1{,}2 \times 10^{-12}$
192	$5{,}0 \times 10^{-13}$
224	$2{,}2 \times 10^{-13}$
256	$9{,}8 \times 10^{-14}$
288	$4{,}5 \times 10^{-14}$
320	$2{,}4 \times 10^{-14}$
352	$1{,}4 \times 10^{-14}$
384	$8{,}4 \times 10^{-15}$
416	$5{,}3 \times 10^{-15}$

Spoetnik 2 was ook uitgerust met instrumenten om de straling van de zon te onderzoeken in het verre ultraviolet en in het röntgengebied. Aan de kunstmaan waren apparaten bevestigd om de kosmische straling te meten. Een belangrijk onderdeel was de hermetisch verzegelde kabine met de hond Laika. Zij bevond zich in een ruimte, die was uitgerust met air conditioning en voedsel, maar ook met een uitgebreide apparatuur om haar hartslag, ademhaling en bloeddruk te meten. Bovendien werden ook de temperatuur en de druk in de kabine nauwkeurig gevolgd. Na enkele dagen werd Laika door een snelwerkend én pijnloos vergif gedood, omdat men nog niet in staat was het dier terug te brengen naar de aarde.

Tegen het midden van april 1958 werd het einde van Spoetnik 2 verwacht. Het vond plaats op 14 april om 1^h55^m boven de At-

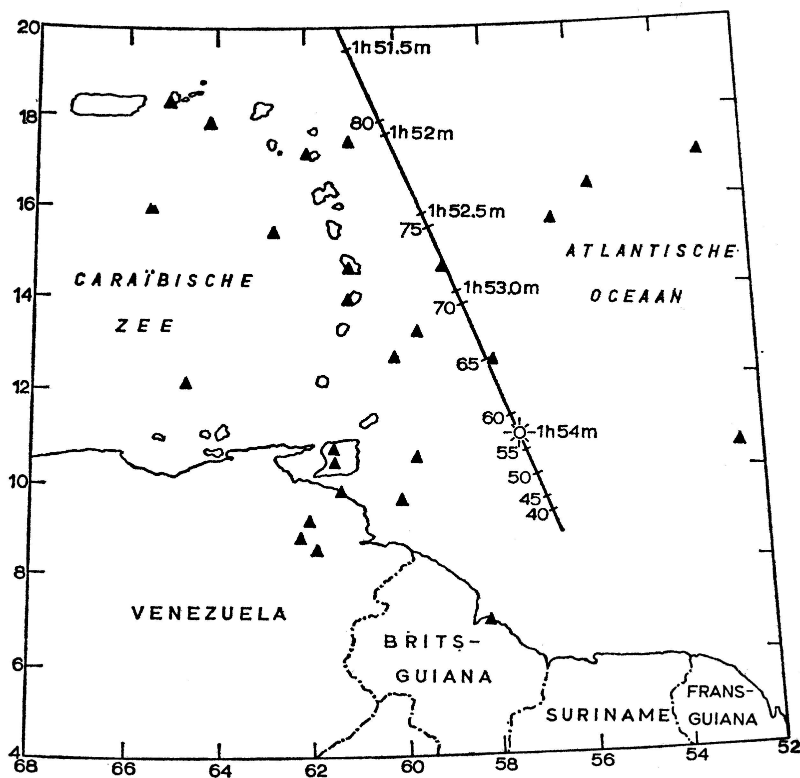


Fig. 15 Vele schepen en waarnemers op het land (aangegeven met driehoekjes) waren getuige van de ondergang van Spoetnik 2 boven de Atlantische Oceaan.

lantische Oceaan ongeveer 250 km ten noorden van Suriname (fig. 15). Tien minuten daarvoor was de satelliet nog in de Verenigde Staten door een aantal waarnemers gezien. Zij zagen een zeer heldere ster met een zwakke staart er achter van ca. 1° lengte. Die staart was dus 1,5 km lang en er waren zwak lichtende deeltjes in te zien. Later werd de Spoetnik nog door schepen in de Caraïbische Zee gezien en de staart werd steeds imposanter. Zij groeide tot 60 km lengte gezien van Antigua, 80 km gezien van Martinique en 90 km gezien van Trinidad op bijna 500 km afstand. De raket zelf leek een verblindend heldere ster, groen of blauw van kleur. Zij was drie à vier keer helderder dan Venus. Zo verging zij gevolgd door een vlammende staart als een schitterende vuurbol.

Midden 1958, toen ook de eerste Amerikaanse kunstmaan reeds was gelanceerd, die wij in het volgende hoofdstuk nader zullen bespreken, volgde de derde Spoetnik. Even voor negen uur werd 1958 δ omhoog gebracht. Intussen was namelijk afgesproken, de gelanceerde kunstmanen te nummeren met Griekse letters beginnende per 1 januari van ieder jaar met alpha. Daar deze Spoetnik de vierde was van 1958 kreeg ze de letter delta. De laatste trap van de raket, die ook in een baan om de aarde kwam, werd δ 1 genoemd, de kunstmaan zelf δ 2. Dit systeem is ontwikkeld door de Amerikaanse astronoom Whipple. Later, toen er steeds meer lanceringen plaatsvonden, werd dit systeem onhandig; het Committee on Space Research of the International Council of Scientific Unions, kortweg *Cospar* genoemd, besloot vanaf 1 januari 1963 iedere satelliet met een levensduur van ten minste 90 minuten te voorzien van een jaarnummer. Delen daarvan worden aangeduid met hoofdletters, A is het belangrijkste wetenschappelijke deel. Bij de Spoetnik 3 kwamen ook drie brokstukken, die de satelliet zelf beschermden tijdens de lancering in een baan om de aarde. De beide grootste delen zijn inderdaad waargenomen, de kleine neuskegel niet. Deze derde Spoetnik had een gewicht van 1327 kg en een afmeting van 3,5 bij 1,5 m. De baan maakte een hoek van 65° met het vlak van de aardequator en de omlooptijd was aanvankelijk bijna 106 minuten. De grote omvang van de raket maakte haar tot een helder objekt. Vooral bij passages door het perigeum was zij duidelijk zichtbaar als een heldere ster van de tweede grootte. Langzaam flikkerend trok zij

haar baan langs de sterrenhemel (pl. I). Dat flikkeren was een gevolg van het tuimelen van de raket. Ook deze Spoetnik vertoonde de gebruikelijke afneming van haar omlooptijd.

Jacchia werd getroffen door een merkwaardige overeenkomst tussen de vertraging van Spoetnik 3 en de Amerikaanse satelliet Vanguard 1 (1958 β 2) en de overeenkomst van beide met de 10,7 cm radiostraling van de zon (fig. 16). Blijkbaar ondergaat de dichtheid in de atmosfeer ritmische pulsaties, die toenemen met de hoogte, omdat de veranderingen bij de op grotere hoogte rondcirkelende Vanguard veel groter zijn. De 10,7 cm straling dringt door de atmosfeer heen en wordt niet geabsorbeerd. Ze kan dus de oorzaak van het effekt niet zijn. Dat moet straling zijn

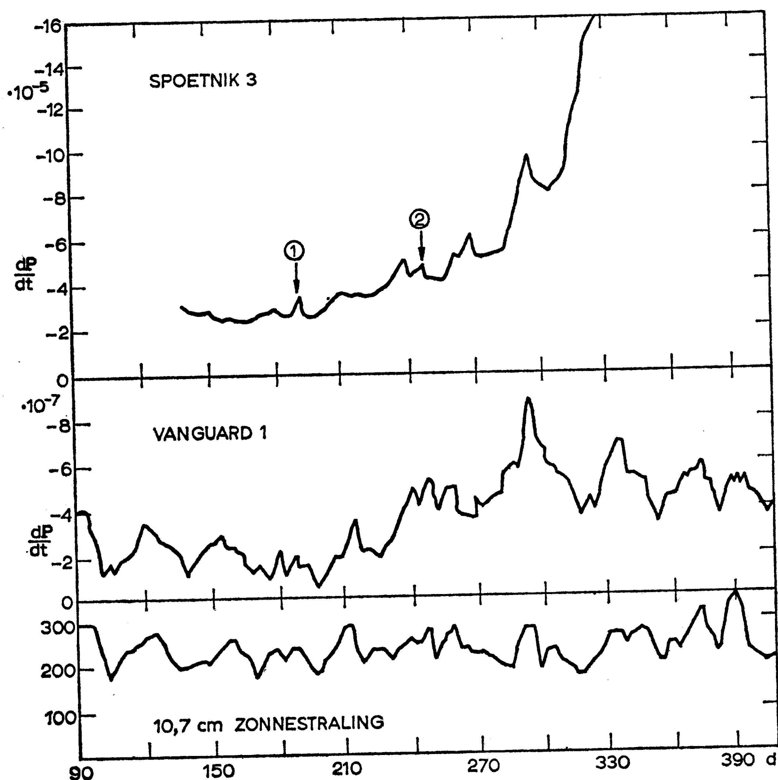


Fig. 16. De vertraging (*dP / dt*) van Spoetnik 3 en Vanguard 1 in de loop van de tijd werden door Jacchia vergeleken met de 10,7 cm-radiostraling van de zon (de horizontale schaal in dagen).

van veel hogere energie, dus kortere golflengte. Er blijkt ook een periodiciteit te zijn van ongeveer 27 dagen. Het maximum komt meestal overeen met het tijdstip, waarop aktieve zonnevlekken, die veel kortegolfstraling uitzenden, midden over de zonneschijf passeren. Er zijn echter andere fluktuaties op gesuperponeerd, zoals dichtheidsverschillen tussen het heldere door de zon verlichte en het nachtelijke donkere halfrond van de aarde. Een ander effekt is de uitpuiling van de atmosfeer aan de evenaar.

In de kromme van Spoetnik 3 vindt Jacchia twee ongewone punten, aangeduid met 1 en 2 in figuur 16. De data, 8/9 juli en 4 september 1958 vallen samen met twee grote geomagnetische storingen, die ieder een dag na het verschijnen van een zonnevlam van importantie 3 plaatsvonden. Zo'n zonnevlam bedekt meer dan 0,1 procent van de zichtbare zonneschijf. De zonnevlam veroorzaakte een toeneming van 40 procent in de vertraging; deze waarde is meer dan tweemaal zo groot als het zo juist vermelde 27-daagse effekt. De Vanguard 1 vertoonde de invloed van de zonnevlam echter niet. Helemaal verklaarbaar was dat toen nog niet. Wel onderging zij een grote verandering in haar vertraging tussen juli en oktober 1958. De juiste interpretatie van het verschijnsel stelde de geleerden echter voor grote moeilijkheden.

Nu gebleken was, dat een levend wezen, zoals een hond, in leven kon blijven bij het opstijgen van een raket en in staat was ook in de kabine te blijven leven, was de mogelijkheid geschapen om ook een mens de reis te laten maken zonder kwade gevolgen. Daarvoor moest echter nog een belangrijk probleem worden opgelost: de veilige terugkeer naar de aarde. Dat vereiste natuurlijk weer nieuwe experimenten op grote schaal. De beide volgende Spoetniks staan dan ook in het teken van deze proefnemingen. De vierde (1960 ε 2) bestond gedeeltelijk uit een kabine, die volledig was uitgerust voor de huisvesting van mensen. De kabine woog 2480 kg en was beladen met 1170 kg aan instrumenten; zij had air conditioning en apparatuur voor de temperatuursregeling. Op een kommando van de aarde af gegeven, werd op 18 mei, bijna vier dagen na de lancering, de kabine uit de Spoetnik weggeschoten. Voordat dit gebeurde werden echter de remraketten van de Spoetnik in werking gesteld, die het ruimteschip een aanzienlijke vertraging gaven. Zodra deze groot genoeg was, moest

de kabine worden uitgeworpen, die dan naar de aarde zou vallen. Was ze laag genoeg in de dampkring gekomen, dan moest een parachute opengaan, zodat ze zacht op de aarde zou dalen. Het oriëntatiesysteem in de Spoetnik faalde echter, zodat de remraketten in de verkeerde richting werkten. In plaats van te vertragen versnelden zij het ruimteschip. De kabine werd wel uitgeworpen, maar keerde niet veilig op aarde terug – zij verbrandde.

De volgende proef verliep beter. Op 19 augustus 1960 werd de vijfde Spoetnik met de beide hondjes Strelka en Belka gelanceerd. Na de achttiende omwenteling lukte het dit keer wel de kunstmaan met remraketten te vertragen tot 2,2 km/sek. en de kabine werd losgeschoten. Beide hondjes keerden, vergezeld door muizen, ratten, vliegen, plantenzaden en diverse biologische preparaten, per parachute naar de aarde terug. Tijdens de vlucht werden de honden met televisiecamera's gadegeslagen en hun hartslag en bloeddruk werden opgenomen. Temperatuur, druk, vochtigheidsgraad en luchtsamenstelling in de kabine bleven normaal. De eerste geslaagde tocht door levende wezens naar meer dan 300 km hoogte boven de aarde met een veilige terugkeer was gelukt. Niettemin zouden nog heel wat proeven nodig zijn voordat zij dit soort reizen inderdaad met een vrij betrouwbare terugkeer naar beneden konden eindigen. Dat bleek bij de volgende Spoetnik. De beide hierin meereizende hondjes overleefden de terugreis niet. Weer werd de kunstmaan na de achttiende omwenteling vertraagd, maar niet alles verliep volgens plan en de ruimtekapsule verbrandde met haar gehele inhoud tijdens de daling in de atmosfeer.

In februari 1961 vond het lanceren van de Spoetniks 7 en 8 plaats. De eerste van die twee was bijzonder zwaar, meer dan 6400 kg; volgens de Russische kommentator professor Sedov waren er ditmaal geen levende wezens aan boord. Het zou uitsluitend de bedoeling zijn een zeer zware satelliet in een van te voren bepaalde baan te brengen op een zo nauwkeurig mogelijke manier. Amerikaanse critici beweerden echter, dat het bij deze lancering reeds de bedoeling was geweest een ruimtekapsule vanuit de Spoetnik te lanceren in de richting van de planeet Venus. Hiervoor zou kunnen pleiten, dat naast de Spoetnik zelf en haar raket (1961 β 2) nog een derde objekt in de baan is waargenomen.

Bij de Spoetnik 8 ging het inderdaad stellig om het lanceren van de Venuskapsule. Met behulp van een drietrapsraket, waarschijnlijk afgeschoten van de basis Baikonoer, werd een baan tussen 205 en 305 km hoogte bereikt. In bijna 90 minuten cirkelde de Spoetnik om de aarde. Bij de eerste omloop werd op 200 km hoogte boven de rivier de Kongo een raket afgevuurd vanaf het ruimteplatform, die een bijna 642 kg zware kapsule omhoogstuwde. Die bewoog in de richting van de baan van de planeet Venus. Het was de bedoeling, dat zij die baan zou bereiken op een tijdstip dat ook Venus zelf ongeveer ter plaatse zou zijn. De kapsule was 2 m lang en 1 m in doorsnede en begon aan de lange reis door de interplanetaire ruimte. De Spoetnik was uitgerust met allerlei instrumenten. Er waren apparaten aan boord om kosmische stralen te bestuderen, mikrometeorieten te tellen en interplanetaire magneetvelden te onderzoeken. Met behulp van een oriëntatiesysteem werden de zonnecellen aan boord op de zon gericht. Zij dienden om de ook aanwezige batterijen op te laden, die de zenders moesten voeden; deze moesten om de vijf dagen het radiokontakt met de aarde onderhouden. Slechts enkele keren is dat echter gelukt, want vijftien dagen na de lancering op 27 februari kon men geen kontakt meer krijgen. Waarschijnlijk is de Spoetnik op 19 of 20 mei de planeet Venus op 104 000 km afstand gepasseerd. De in de kabine aanwezige kentekenen van de Sovjet-Unie hebben het Venusoppervlak dus niet bereikt. Het is nooit meer gelukt verbinding met deze Venusverkenner te krijgen.

Na deze mislukte interplanetaire reis werd het Spoetnikprojekt opnieuw gebruikt voor verdere testvluchten ten behoeve van de bemande ruimtevaart. Zowel Spoetnik 9 (1961 δ 1) als Spoetnik 10 (1961 ι 1) had levende dieren aan boord, waaronder steeds een hond. Reeds na één omloop werden ze in beide gevallen met sukses teruggebracht naar de aarde. Langzamerhand was men het probleem van de veilige terugkeer meester geworden en was de weg geëffend voor tochten door met mensen bemande ruimteschepen.

Overzicht van het projekt Spoetnik

jaar	*lanceer-* *datum*	*no.*	*H* km	*h* km	*P* min	*opmerkingen*
1957	4 oktober	1	945	230	96	eerste kunstmaan, 84 kg
	3 november	2	1670	225	104	met hond Laika, 508 kg
1958	15 mei	3	1870	240	106	1327 kg
1960	15 mei	4	380	315	91	4000 kg waaronder een kabine van 2480 kg
	19 augustus	5	320	320	91	met 2 honden terug na 18 omw.
	1 december	6	260	185	89	met 2 honden terugkeer mislukt
1961	4 februari	7	340	200	90	6483 kg
	12 februari	8	305	205	90	later in baan om zon tussen 0,7183 en 1,019 *AE* in 300 d.
	9 maart	9	250	175	88	met 1 hond teruggekeerd
	25 maart	10	245	175	89	4670 kg

In bovenstaande lijst is bij het begin, kort na de lancering, H de grootste hoogte en h de kleinste hoogte boven het aardoppervlak.

zesde hoofdstuk

een schuchter amerikaans begin

Het Vanguard-debâcle – Vertraging door rivaliteit – Von Braun kreeg zijn kans – De eerste Amerikaanse kunstmaan – Het probleem van de stralingsmetingen – Een Vanguard zonder veel instrumenten – De eerste weersatelliet – Vanguard 3 onderzocht het aardmagneetveld – Op jacht naar meteoroïden – Zonder bijsturen naar de maan– Meer dan 100 000 km hoog! – De mislukte Pioniers – Geen maanfoto's, wel stralingsmetingen – Geen stralings- maar deeltjesgordels – De bouw van de Van Allen-gordels – Kunstmatige gordels door kernexplosies – Spiralerende gevangen deeltjes – Explorers verfijnen het beeld.

Wij hebben in het eerste hoofdstuk reeds aangegeven, waarom het lanceren van de eerste Amerikaanse kunstmaan met zo veel moeilijkheden gepaard ging. Het projekt-Vanguard werd uitgekozen en kreeg prioriteit. Het grootste probleem was het bouwen van een raket, die het kleine kunstmaantje in een baan om de aarde moest brengen. Jaren heeft het geduurd voor de eerste lancering inderdaad een feit werd. Bovendien is tenslotte toch dit hele projekt nagenoeg een mislukking geworden, want van de twaalf lanceringen van 1957 tot in 1959 zijn er slechts drie gelukt.

De eerste Russische Spoetnik in de herfst van 1957 was wel een geweldige klap voor het prestige van de Amerikanen. In de hoogste politieke en militaire kringen voelde men echter ook een beetje schuldbesef. Niet alleen de reusachtige moeilijkheden om een passende raket te ontwerpen en te konstrueren hadden een doorslaggevende rol gespeeld. Ook de rivaliteit tussen de drie machtige militaire instanties – leger, vloot en luchtmacht – had vrij veel vertraging veroorzaakt. Immers het marine-ontwerp had de voorkeur gekregen boven dat van het leger, dat gekomen was met een kunstmaanprojekt onder leiding van de vroegere Duitse raketdeskundige Von Braun. Die spreiding over verscheidene projekten van verschillende militaire instanties, die elkaar af en

toe zelfs tegenwerkten, veroorzaakte niet alleen vertraging, maar ook vaak onnodig tijdverlies, omdat allerlei onderzoekingen meer dan één keer werden verricht. Direkt na het grote Russische sukses kreeg het leger met Von Braun de kans om te laten zien wat het kon; inderdaad slaagde het er in nog voor de marine de eerste Amerikaanse kunstmaan te lanceren: de *Explorer* 1.

In de loop van 1958 kwamen de Amerikaanse programma's heel langzaam op gang. Het leger slaagde er in drie Explorers omhoog te brengen en de marine kwam eindelijk ook met de lang verbeide eerste Vanguard.

Explorer 1 werd op 31 januari 1958 met een Jupiter-C-raket gelanceerd met vier trappen. De satelliet zelf woog slechts 3,4 kg en bevatte 5 kg aan instrumenten. Tussen 360 en 2530 km hoogte liep hij in 115 minuten om de aarde en seinde met behulp van twee zendertjes gedurende enkele weken gegevens over de kosmische straling en het aantal meteoroïden naar de aarde.

De lancering van de tweede Explorer op 5 maart mislukte, doordat de tweede trap faalde. Op 26 maart echter lukte het wel om Explorer 3 in een baan om de aarde te brengen. Dit was een 2 m lange satelliet, die zijn metingen van de kosmische straling op een band verzamelde. Op een kommando vanaf de aarde werd de band in korte tijd afgespoeld, uitgezonden en schoongewist, zodat ze opnieuw kon worden gebruikt.

Tijdens een conferentie in Washington in mei 1958 vertelde Van Allen over de resultaten van die *stralingsmetingen*. Tot hoogten van 900 km nemen de tellingen van de kosmische straling toe, maar bij 1600 km stoppen ze plotseling, als de satelliet zich naar zijn apogeum spoedt. Het leek hem toe dat de meters weigerden, omdat ze door een veel te intens stralingsveld werden overvoerd. De mogelijkheid dat er werkelijk geen straling zou zijn, leek hem in tegenspraak met het gedrag van het magneetveld van de aarde.

Dit interessante probleem leidde er toe, dat de gehele lading van de volgende Explorer, die op 26 juli 1958 werd afgeschoten, diende voor het meten van straling. Er gingen twee geigertellers mee, de ene binnen 1,6 mm lood gebouwd, en ook nog twee scintillatietellers. De eerste meten de totale intensiteit, de laatste twee de frequentie van de straling. Het bleek, dat Van Allen gelijk had gehad: op grote hoogte werd een intens stralingsveld geregistreerd.

Intussen was in maart 1958 het *projekt-Vanguard* (pl. IV) gestart met de lancering van Vanguard 1. De bolvormige satelliet, die slechts 1,5 kg woog en die, behalve twee radiozendertjes in het geheel geen instrumenten mee voerde, kan zeer lang blijven leven, omdat hij een baan op grote hoogte beschrijft.

De tweede Vanguard, waarvan de start gelukte, zou men de eerste weersatelliet kunnen noemen. Het was de bedoeling hiermee wolken waar te nemen. Men verwachtte, dat het reflektievermogen van wolkenvelden veel groter zou zijn dan dat van het oppervlak van de aarde of de zee. In de satelliet waren een paar parabolische spiegels gebouwd, die het licht op twee fotocellen wierpen. Deze waren speciaal voor het infrarood gevoelig. Ze lagen aan weerskanten van de bolvormige satelliet op 45° van de draaias en ten minste een ervan tastte de aarde 50 keer per minuut af. Als de satelliet in haar laagste positie was, kon men zo een veld waarnemen van ongeveer 11 bij 11 km. De resultaten van deze helderheidsmetingen werden weer op een magnetische band vastgelegd, die op bevel van een van de grondstations in 60 sekonden kon worden afgedraaid. Zo spaarde men de energie van de batterijen, omdat de zenders niet nodeloos behoefden te werken.

De derde geslaagde Vanguard was bestemd om het aardmagneetveld te meten. Deze 45 kg zware satelliet was een bol van 50 cm, beladen met instrumenten. Uit de bol stak een 65 cm lange snuit van fiberglas, die geheel geïsoleerd was van het magnetische veld van de bol. Het bleek, dat het magnetische veld van de aarde bij afwezigheid van magnetische stormen zeer stabiel was. Zo stabiel zelfs, dat het gebruikt zou kunnen worden voor de navigatie van ruimteschepen. De waargenomen velden kwamen treffend overeen met de vroeger theoretisch berekende waarden.

Voorts was het de bedoeling met deze Vanguard ook de röntgenstraling van de zon te meten tijdens zonnevlammen. Vier verschillende methoden om meteoroïden te ontdekken waren in deze satelliet aangebracht. Een drietal chroomstrips was blootgesteld aan inslag door meteoroïden. De daardoor veroorzaakte erosie werd gemeten als een verandering van de elektrische weerstand. Vier mikrofoontjes, op verschillende plaatsen tegen de wand van de Vanguard gehecht, luisterden naar voltreffers. Een fotocel achter een dicht scherm registreerde een lichtflitsje als

een meteoroïde het scherm doorboorde. De druk in twee tankjes werd gemeten en die verminderde, zodra door een meteoroïde een gat in de wand werd geslagen. De resultaten van al deze metingen varieerden sterk van 300 inslagen maximaal tot 77 minimaal per dag en per m^2.

De lanceringsmethoden waren in die tijd nog zeer primitief. Meestal lanceerde men op goed geluk en men was niet in staat de baan van een satelliet te veranderen. Ook de meegenomen instrumenten waren vaak nog niet doeltreffend genoeg en niet bruikbaar voor de vaak veel te moeilijke taak. Het was nog de tijd van het eerste experimenteren. Ondanks dat begon men nu zelfs ook te trachten ruimteschepen naar de maan te zenden. De Amerikaanse strijdkrachten beseften nog allerminst hoe moeilijk zo'n tocht zou zijn. Immers, als de kapsule eenmaal was weggeschoten, was het onmogelijk kleine fouten in de richting of de snelheid te corrigeren. Toen men dat jaren later wel kon, mislukten bij de Rangers ook nog een groot aantal, waaruit wel bleek wat voor problemen er bij een dergelijke reis moesten worden overwonnen.

Op 11 oktober 1958 werd de eerste *Pionier* gelanceerd. Zij bereikte de maan niet, maar steeg wel tot de fantastische hoogte van 114 000 km. Over die tocht deed zij ruim 43 uur. Het paddestoelvormige ruimteschip (pl. IV), dat 38 kg woog, kwam bijna tot op een derde van de afstand tot de maan. Het werd omhooggebracht met een drietrapsraket, waarvan de eerste trap een Thor was van de luchtmacht, de tweede een Vanguard van de marine en waarvan de derde op vaste brandstof werkte. Met de Pionier was als het ware symbolisch een iets betere samenwerking van diverse Amerikaanse instanties tot stand gekomen. De tocht bevestigde, dat het aardse magneetveld met de hoogte afnam en ook op deze grote hoogten volkomen overeenkwam met de berekeningen.

Nadat het afschieten van een tweede Pionier op 8 november was mislukt, omdat de derde trap faalde, bereikte men met de derde lancering van dit projekt opnieuw een bijna even grote hoogte als de eerste keer. De maan was echter nog steeds onbereikbaar gebleken. De eerste trap van deze Pionier 3 was een gewijzigde Jupiter-raket. Doordat ze 3,7 sekonden te vroeg was uitgewerkt, kreeg de kapsule een iets te lage snelheid en slaagde zij er niet meer in los te komen van de aarde. Bovendien week ze

ook nog 3° van haar koers af, zodat het toch niet gelukt zou zijn maanfoto's te maken. Daarvoor was wel een camera in de Pionier ingebouwd, die langs foto-elektrische weg in werking moest treden, zodra het ruimteschip voldoende dicht bij de maan zou zijn gekomen.

De tocht van de Pionier 3 breidde het aantal beschikbare gegevens over de buitenaardse ruimte opnieuw belangrijk uit. Vooral de metingen van de dichtheid van de kosmische straling op grote hoogten waren belangrijk en bevestigden het reeds door de Russische Loeniks aangetoonde bestaan van twee Van Allen-gordels. Wij komen hier straks nog op terug.

Enkele maanden later, namelijk op 3 maart 1959, meenden de Amerikanen hun prestige ten opzichte van hun Russische rivalen te hebben hooggehouden, doordat ze er tenslotte in slaagden een kunstplaneet te lanceren. De Pionier 4 passeerde de maan op 60000 km afstand van haar oppervlak en kwam in een elliptische baan om de zon met een omlooptijd van 407 dagen. Door de te grote afstand tot de maan werkte het fotosysteem niet. In dat opzicht was de lancering dus volkomen mislukt. Wel werden opnieuw gegevens over de Van Allen-gordels verkregen, terwijl het zendertje van slechts 0,18 watt tot op 660000 km van de aarde ontvangen werd.

De interessante resultaten, die men verkregen had ten aanzien van de interplanetaire ruimte, hadden tot gevolg dat men een jaar later nog een vijfde Pionier lanceerde. Ook dit werd een kunstplaneet, die een baan doorliep gelegen tussen de aardbaan en de Venusbaan in. Opnieuw werden uitgebreide metingen van de kosmische straling uitgevoerd. Bovendien trachtte men kosmische magneetvelden op te sporen en mikrometeorieten te tellen.

Zeven Explorers, waarvan er twee (no. 2 en 5) mislukten, werden in het kader van het Internationale Geofysische Jaar door de Amerikanen gelanceerd. Steeds meer en steeds ingewikkelder apparaten namen deze satellieten mee omhoog. Naast vele andere onderzoekingen hebben zij samen met de Spoetniks en de Pioniers geleid tot een der belangrijkste resultaten van deze internationale gebeurtenis: de ontdekking van de Van Allen-gordels.

Dikwijls noemt men ze stralingsgordels, maar beter is het om van deeltjesgordels te spreken. De kunstmanen zijn uitgerust met

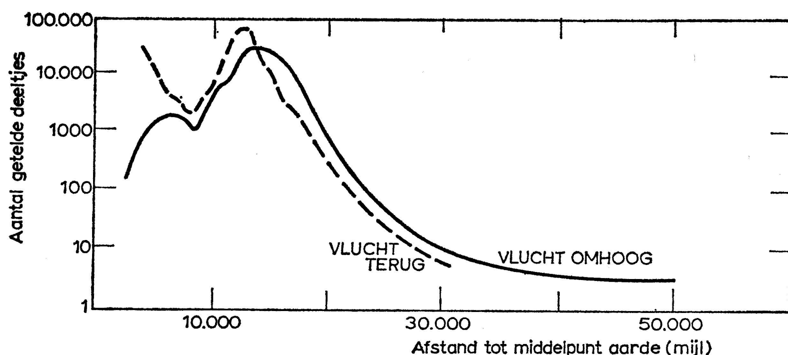


Fig. 17 Het door de Pionier 3 getelde aantal geladen deeltjes per sekonde vertoonde twee maxima, veroorzaakt door de beide Van Allen-gordels.

telbuizen, die de aanwezigheid van geladen deeltjes registreren, die zich in die gebieden bevinden. De meetapparatuur kan het aantal deeltjes tellen, dat in de meetbuis binnendringt. Ieder inkomend deeltje geeft aanleiding tot een elektrische ontlading, die als een stroompje wordt genoteerd. Hoe dikker de wand van de buis, hoe meer energie het deeltje moet bezitten om er te kunnen binnendringen, zodat men door telbuizen te gebruiken met verschillende wanddikten ook de energieverdeling van de inkomende deeltjes verkrijgt. Kent men hun massa, dan kan men uit hun energie ($\frac{1}{2}\, m\, v^2$) hun snelheid, v, berekenen.

Aanvankelijk was het slechts mogelijk het totaal aantal geladen deeltjes te tellen, dat per sekonde werd geregistreerd (fig. 17), zoals bij Pionier 3. Later ging men op zoek naar de aantallen deeltjes van verschillende energie.

Het onderzoek wordt bemoeilijkt door de omstandigheid, dat de beide zones bestaan uit meer dan een soort geladen deeltjes, voornamelijk elektronen en protonen, ieder soort met haar eigen ruimtelijke verdeling (fig. 18). Latere onderzoekingen in de volgende jaren hebben ons beeld van de Van Allen-gordels aanzienlijk verruimd. Zo verrichtte Explorer 15, die op 28 oktober 1962 werd gelanceerd, gedurende drie maanden 450000 metingen. Ilwain beschreef de ruimtelijke verdeling van de protonen met energie tussen 40 en 110 MeV (snelheden tussen 100000 en 165000 km/sek.), die zowel in de binnenste als in de buitenste Van Allen-gordel voorkomen (fig. 19). Het aantal is echter in de

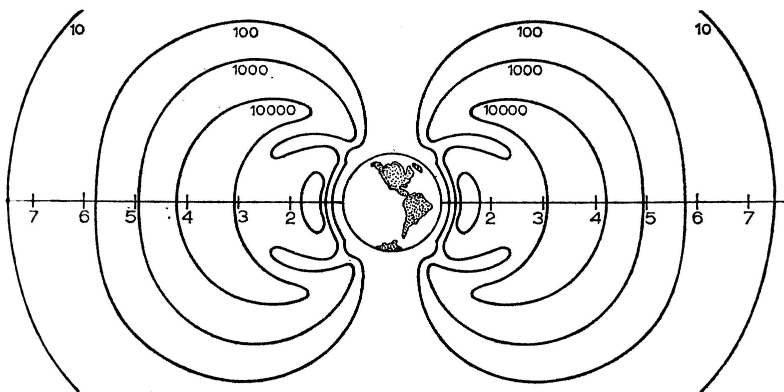


Fig. 18 Ligging van de Van Allen-gordels. De getallen geven het aantal geladen deeltjes dat men gemiddeld per sekonde telt. Tengevolge van de zonnecyclus verandert het beeld.

buitenste veel kleiner dan in de binnenste. De aanwezige deeltjes hebben weliswaar fantastisch grote snelheden, maar hun aantal is relatief gering. Het is gebleken, dat de satellieten zich bewegen in een plasma met 10 à 100 geladen deeltjes per cm³. De dichtheid in de buitengordel is veel kleiner dan in de binnenzone. De grote snelheden van de deeltjes zijn zeer bijzonder. In beide gordels komen veel elektronen voor, die in de buitenste gordel zelfs het merendeel der deeltjes uitmaken.

De kernexplosies, die de Russen en Amerikanen op grote hoogte hebben verricht, deden op hoogten van ongeveer 500 km een echte stralingsgordel ontstaan. De eerste werden geregistreerd door de Explorer 4, gelanceerd op 26 juli 1958. Drie kernexplosies, uitgevoerd in het kader van het projekt-Argus op 27 en 30 augustus en 6 september boven de Zuidelijke Atlantische Oceaan, deden die zone ontstaan. De derde explosie veroorzaakte ook een schitterend rood poollicht. Die kunstmatige stralingsgordels hebben een lang leven. Zo telde Explorer 15 later de elektronen en protonen van zo'n stralingszone en vond, dat het aantal in de loop van drie maanden maar weinig afnam. Het zal wel dertig jaar duren voor deze invloed van de kernexplosies volledig zal zijn verdwenen.

De beide natuurlijke stralingsgordels hebben een doorsnede van een boon, respectievelijk een banaan. De binnenste ligt

3000 km van het aardoppervlak. Ze liggen symmetrisch ten opzichte van de geomagnetische equator. Blijkbaar zijn de geladen deeltjes gevangen in het magneetveld van de aarde. In de natuurkunde wist men reeds lang, dat geladen deeltjes in een magneetveld een kracht ondervinden, de Lorentzkracht. Bewegen zij loodrecht op het magnetische veld, dan gaan zij een cirkel beschrijven om een veldlijn. Bewegen zij niet precies loodrecht op het veld, dan veroorzaakt de loodrechte komponent van hun snelheid toch een cirkelvormige beweging, maar de komponent evenwijdig aan het magneetveld doet het geladen deeltje tegelijkertijd voortlopen langs de veldlijn. Beide bewegingen vinden gelijktijdig plaats; ze hebben tot gevolg, dat de deeltjes langs spiraalvormige banen (schroeflijnen) om een veldlijn gaan bewegen.

Natuurlijk is het hele beeld schematisch, want in werkelijkheid zijn de gordels geen scherp begrensde zones, evenmin als de dampkring. Bovendien is het aardmagneetveld ook niet volkomen symmetrisch ten opzichte van het middelpunt van de aarde. Zo is het aardmagnetisme zwakker boven de Zuidelijke Atlantische

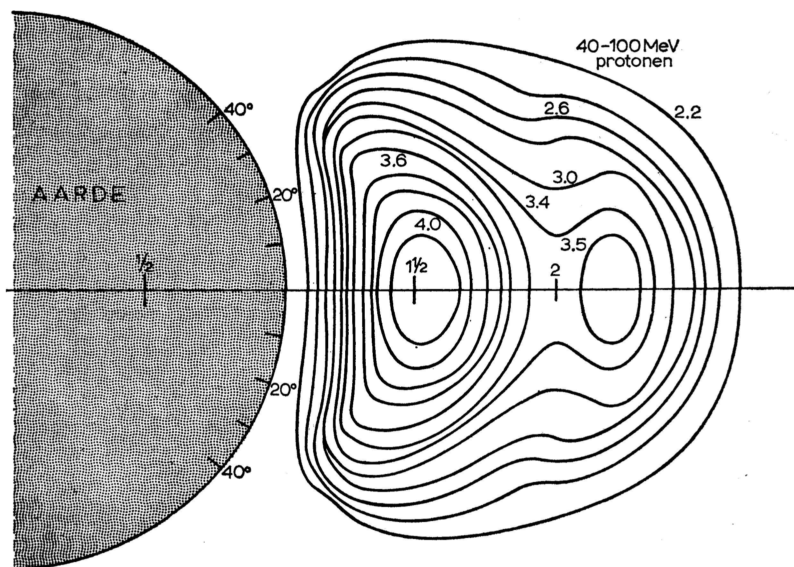


Fig. 19 De verdeling van de protonen met energie tussen 40 en 110 MeV in de Van Allen-gordels volgens Explorer 15 (1962). De getallen bij de lijnen zijn logaritmen van gemeten intensiteiten.

Oceaan en bij Zuid-Amerika. Dit weerspiegelt zich weer in de Van Allen-gordels, die daar de aarde dichter naderen. Bovendien blijven de geladen deeltjes niet gekluisterd aan eenzelfde veldlijn. De inhomogeniteit van het magneetveld en op het deeltje werkende centrifugaalkrachten bewerken een oost- of westwaartse drift, afhankelijk van het teken van de lading.

Overzicht van het projekt-Vanguard

jaar	*lanceerdatum*	*no.*	*H* km	*h* km	*P* min	*opmerkingen*
1958	17 maart	1	3950	660	134	gewicht 1,5 kg met zonnecellen
1959	17 februari	2	3330	630	126	gewicht 9,5 kg weer-satelliet
	18 september	3	3725	510	130	gewicht 23 kg magneetvelden gemeten

Overzicht van het projekt-Pionier

jaar	*lanceer-datum*	*no.*	*H* km	*h* km	*P* d	*opmerkingen*
1958	11 okt.	1	114 000			omhooggeschoten en teruggevallen in 43^h18^m
	8 nov.	2				mislukt
	6 dec.	3	102 320			als 1 terug na 38^h
1959	3 mrt	4	172 730 000	147 520 000	407	kunstplaneet e = 0,07
1960	11 mrt	5	148 800 000	121 000 000	312	kunstplaneet e = 0,10
1965	16 dec.	6	145 800 000	121 500 000	311	kunstplaneet e = 0,09
1966	17 aug.	7			400	kunstplaneet

In deze lijsten is *H* de grootste afstand en *h* de kleinste afstand tot het aardoppervlak, terwijl *P* de omlooptijd voorstelt. Bij de laatste vier Pioniers is *H* de apheliumafstand en *h* de periheliumafstand. Een overzicht der Explorers vindt men in hoofdstuk XII.

zevende hoofdstuk

russische maanexpedities op weg

De eerste kunstplaneet – Bijna de maan geraakt – Landing in Mare Imbrium – Magneetvelden in de ruimte – Het kompas weigert op de maan – Zeeën en bergen op de maan – Kraters met stralen – De onbekende achterkant – Gissingen uit het verleden – Loena 3 verkent onbekende streken – Sovjet-geleerden analyseren – De Zee van Moskou en de Sovjetbergen – Een lange reeks pechvogels – Nieuwe foto's van de achterkant – Zachte landingen zijn niet eenvoudig – Loena 9 heeft succes – Jodrell Bank pikt een Russische primeur weg – Polarisatie van het maanlicht – De fotometrie komt tot andere resultaten – Het probleem van de maanbodem – Warmtegeleiding en draagkracht – Loena's cirkelen om de maan.

De eerste kunstmaan in het najaar van 1957 vormde de ouverture van het ruimtevaarttijdperk. Nauwelijks een jaar later verrasten de Russen de wereld met een nieuwe primeur: de eerste kunstplaneet. *Loenik* 1 (pl. I) werd op 2 januari 1959 gelanceerd, een bol van 360 kg, uitgerust met allerlei instrumenten. Ongetwijfeld was het de bedoeling om de maan te bereiken of althans zo dicht mogelijk te naderen. Nauwelijks realiseerde men zich in die pionierstijd, dat een zo nauwkeurig richten niet gemakkelijk zou zijn en dat een betrekkelijk kleine baankorrektie onderweg een reis naar onze wachter heel wat zou vereenvoudigen. Hoewel de Loenik 1 uitstekend was gericht en bijna de juiste snelheid had, passeerde ze de maan op 8000 km afstand zonder haar te raken.

Op 2 januari vertrok het ruimteschip en op 3 januari spuwde het een natriumwolk in de ruimte. Die was vijf minuten lang zichtbaar en werd door de sterrewacht te Alma Ata gefotografeerd tegen de achtergrond van de sterrenhemel van het sterrenbeeld de Maagd. De Loenik voerde allerlei instrumenten mee om de kosmische straling te meten, magnetische velden te onderzoeken en meteoroïden te registreren. De kapsule zat verborgen in de laatste trap van de raket, die 1470 kg woog. Zij kwam in een elliptische baan om de zon terecht en was de eerste kunstplaneet.

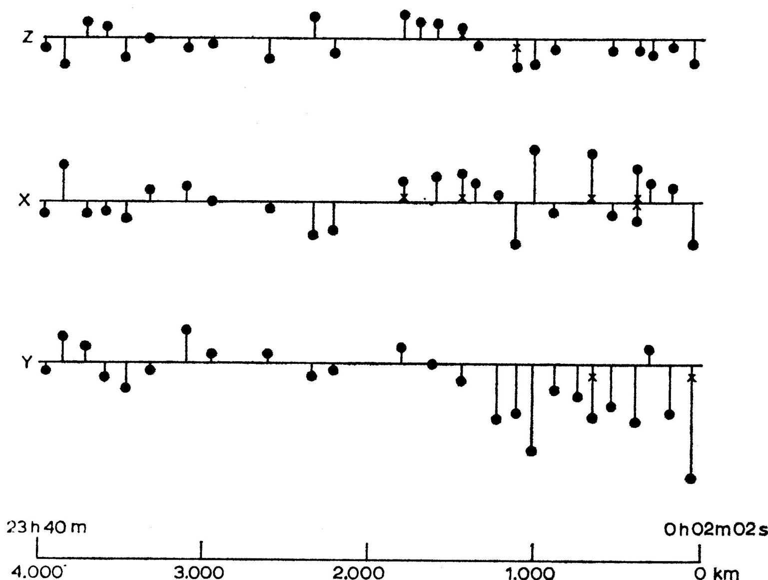


Fig. 20 Metingen van de Loenik 2 vlak voor zijn inslag van de drie komponenten X, Y en Z van het magneetveld vlak bij de maan. De horizontale schaal is de afstand tot de maan in kilometers.

Hoewel de eerste poging van de Russen om de maan te raken was mislukt, was de afstand waarop de Loenik passeerde slechts gering. In het najaar van 1959 waagden zij een nieuwe poging. Loenik 2, die op 12 september 1959 vertrok, had meer sukses. Na een vlucht van 35 uur bereikte ze de maan en sloeg in op onze satelliet in de Mare Imbrium of Buienzee. De kabine was een 388 kg zware, hermetisch verzegelde, met gas gevulde bol. Zij was voorzien van een automatisch temperatuursysteem en bevatte drie zenders. Ook bij deze Loenik werd een natriumwolk uitgestoten, die werd opgenomen en gezien door verscheidene Russische observatoria. De Loenik sloeg in onder een hoek van ongeveer 60° met een snelheid van 3,2 km/sek. en deponeerde schildjes en emblemen van de USSR op de maan.

Drie loodrecht op elkaar staande meetinstrumenten stelden de Loenik in staat de magnetische veldsterkte in drie richtingen te onderzoeken. Deze is in de ruimte te ontbinden in een X-, Y- en

Z-komponent en alle drie werden onafhankelijk van elkaar gemeten. Het signaal van het meetapparaat werd met een nulstand vergeleken en naar de aarde uitgezonden. Dit nulpunt was bepaald op grote afstand van maan en aarde. Men vond later in de cislunaire ruimte velden tussen 2 en 5 γ, dit is minder dan de nauwkeurigste metingen door de apparatuur in de Loenik, die misschien wel 20 à 30 γ zullen hebben bedragen (1 γ is 10^{-5} gauss). De laatste 23 meetpunten werden gedurende de laatste 22 minuten voor het inslaan op de maan verricht (fig. 20). Het Y-kanaal is iets sterker, maar er is weinig verband tussen X en Y, wat wel zo zou moeten zijn (en ook zo was) in de cislunaire ruimte, omdat de kapsule om de Z-as wentelde in 840 sek. De maan heeft blijkbaar geen merkbaar magnetisch veld. Het magnetisch moment (dat is de hoeveelheid magnetisme maal de afstand der polen, dus een maat voor de sterkte van het veld) is kleiner dan 6×10^{12}, dit is 10^{-4} maal dat van de aarde. Toekomstige ontdekkingsreizigers op de maan zullen dus waarschijnlijk geen kompas kunnen gebruiken om zich te oriënteren. Zij zullen dat met behulp van de zon of de sterren moeten doen. Zij moeten dan wel beschikken over zo nauwkeurig mogelijk uitgewerkte kaarten van het gebied dat zij willen verkennen.

Al lang voor de tijd van de ruimtevaart was het maanoppervlak door de astronomen beter in kaart gebracht dan menige moeilijk bereikbare streek of plaats op aarde. Weliswaar keert de maan steeds dezelfde kant naar ons toe, zodat wij slechts een van haar helften kunnen bestuderen, maar die is dan ook zeer nauwgezet in kaart gebracht. De steeds groeiende omvang van de kijkers in de loop van de tijd heeft ons dat aanzienlijk vergemakkelijkt.

Ook zonder kijker is het reeds mogelijk een kaart van de maan te ontwerpen. Men ziet daarop donkere vlekken, die aanvankelijk zeeën genoemd werden. Tegenwoordig spreken wij van vlakten, omdat deze streken lager zijn gelegen dan hun omgeving, maar officieel worden ze nog steeds met de Latijnse naam Mare (Zee) aangeduid. We noemden hierboven al Mare Imbrium of Buienzee, waar de Loenik 2 insloeg, maar ook de Mare Nubium, de Wolkenzee, is interessant. De grootste vlakte heet Oceanus Procellarum (Stormenoceaan), kleinere heten Sinus (golf) of Palus (moeras).

Essentiële kenmerken van die vlakten zijn hun min of meer cirkelronde vorm en hun donkere oppervlak (hun *albedo*, maat voor hun helderheid, is klein). In de kijker vertonen ze een vrij gladde bodem, maar in werkelijkheid is zo'n vlakte ook bedekt met een enorm aantal kuiltjes en zwak glooiende inzinkingen. Die vindt men trouwens ook in de om de vlakte heen gelegen hooglanden in groten getale. De hooglanden op de maan onderscheiden zich van de vlakten door hun veel grotere helderheid. Beide soorten gebieden zijn overdekt met enorm veel maanbergen.

Reeds het kleinste kijkertje laat ons een groot aantal van die maankraters zien. Hun afmetingen variëren van meer dan honderd km, zoals bij de enorme *walvlakten*, tot minder dan duizend meter. De kleinste kratertjes, die we op aardse (perfekte) opnamen kunnen onderscheiden, zijn ongeveer 500 m. Het aantal kraters op 1000 km^2 maanbodem varieert sterk van plaats tot plaats. Door tellingen kan men echter gemiddelde aantallen bepalen. Er zijn uiteraard meer kleine dan grote kraters. Er zijn ongeveer viermaal zoveel kraters van 500 m middellijn als kraters van 1000 m.

Bij het bepalen van de middellijn van de kraters moeten we rekening houden met het feit dat de maan een bol is, waardoor we alle objekten aan de rand van de schijf, die de maanbol aan ons toont, in een richting loodrecht op die rand verkort zien. De meestal bijna ronde kuilen zijn daardoor schijnbaar elliptisch van vorm en de lange as van de ellips loopt evenwijdig met de rand. We meten dan de lange as. Daar de in de vorige eeuw verrichte metingen van de grotere maankraters soms merkwaardige verschillen vertonen, wordt momenteel een nieuwe serie diameterbepalingen uitgevoerd aan de universiteit van Manchester met behulp van de beste fotografische opnamen uit de gehele wereld.

Zeer interessant is het profiel van zo'n krater. Men kan namelijk de hoogte van de wal, die de inzinking er in omringt, ten opzichte van de omgeving gemakkelijk meten, door de lengte van de schaduw te bepalen die de wal bij een bepaalde hoogte van de zon werpt. Uit die schaduwmeting is ook onder geschikte omstandigheden de hoogte van de wal ten opzichte van het interieur van de krater te bepalen. Ook dit soort metingen wordt nu in Manchester op uitgebreide schaal opnieuw uitgevoerd.

Uit de schaduwmetingen blijkt, dat in het algemeen de kraterbodem aanzienlijk dieper ligt dan zijn omgeving. Het zou daarom zinvoller zijn van maankuilen dan van maanbergen te spreken. De hellingen zijn meestal gering. De gemiddelde helling neemt af met toenemende diameter. In het algemeen bedraagt de gemiddelde helling slechts 10° à 15°. Bij veel kraters blijkt de inhoud van de wal van dezelfde orde van grootte als de inhoud van de kuil. Dat suggereert sterk, dat de materie, die de wal vormt, oorspronkelijk de kuil vulde en daaruit door een of ander explosief proces is weggeworpen.

Op de bodem van de kuil bevinden zich bij vele kraters een of meer onregelmatig gevormde bergen, meestal ongeveer in het midden. Dergelijke *centraalbergen* houden verband met de vorming en het ontstaan van zo'n ringberg. De hoogte er van is meestal minder dan die van de wal, die de kuil omgeeft.

Vele tientallen ringbergen – waaronder een aantal van de bekendste, zoals Tycho en Copernicus – worden omringd door een stralenstelsel. Zo'n aureool van stralen ziet men het best bij volle maan. Dit in tegenstelling tot de andere details, zoals ringbergen, groeven en heuvels, die juist bij lage zonnestand goed te zien zijn door de schaduwen die ze dan werpen. De stralen ziet men dan haast niet.

Het zijn blijkbaar geen hoger gelegen objekten, die schaduw werpen. Men ziet ze het beste bij volle maan en ze lopen dan dwars over alle andere details heen. Zij zijn het laatst ontstaan. Ze omgeven sommige grote kraters als een aureool van heldere witte strepen; bij vele andere grote kraters ontbreken ze echter. Daarnaast is er een groot aantal 'baby-stralenstelsels' rondom kleine witte kratertjes, meestal kleiner dan 1000 m. Ze zijn zichtbaar als witte vlekjes op goede foto's vanaf de aarde genomen.

Stralenkraters vertonen een typische bouw. Ze bestaan uit een heldere centrale bodem, omringd door een, vaak terrasvormige, wal. Deze maakt deel uit van een donkere ring (*annulus*) om de krater, die in sommige gevallen bijna ontbreekt. Daaromheen ziet men een heldere kring of *nimbus* en dan daarbuiten het stralensysteem. De stralen zelf zijn opgebouwd uit stralenelementen, die de vorm hebben van een driehoek met een zeer kleine tophoek. De top van de driehoek wijst steeds naar het midden van de krater waar de straal bij behoort. Iets dichter bij de krater

dan de top vindt men meestal een *secondaire krater*. Hoewel de stralen zelf lang niet altijd naar het middelpunt van de hoofdkrater wijzen, doen de stralenelementen dat altijd wel. Sommige kraters vertonen typische kenmerken van een stralenkrater, maar hun stralenstelsel ontbreekt. Men vermoedt, dat het is verdwenen en dit verdwijningsproces geeft ons een mogelijkheid om de relatieve ouderdom van bepaalde soorten kraters te bepalen.

Terwijl de maan om de aarde beweegt, draait ze gelijktijdig ook om haar as; beide omlooptijden zijn gelijk. Daardoor keert de maan steeds dezelfde kant naar de aarde toe. De zon daarentegen, die zeer ver van het systeem aarde-maan verwijderd staat, verlicht de maanbol bij zijn omloop om de aarde aan alle kanten, terwijl wij slechts de naar ons toegekeerde kant kunnen waarnemen.

Al kunnen wij de achterkant van de maan dan niet rechtstreeks waarnemen, toch kunnen wij langs indirekte weg wel iets over die achterkant te weten komen. Ook aan de achterkant van de maan bevinden zich ringbergen met een stralenstelsel. Wanneer zo'n systeem van stralen groot genoeg is, kunnen sommige ervan doorlopen op de voor ons zichtbare helft van de maan. We kunnen ze dan verwachten in de randgebieden. Reeds tachtig jaar geleden werd er naar gezocht door Shaler, die er ook enige vond. Later is dit onderzoek door Wilkins en Moore intensief voortgezet. Het is geen eenvoudig werk, want de stralen in de randgebieden zijn meestal zwak. Om ze te vinden is geen kijker met een grote vergroting nodig, maar wel een zeer lichtsterk instrument. Wilkins vond acht centra van stralen op de voor ons onzichtbare helft. Een er van ligt 480 km van de rand. Dan zijn er nog drie onzekere centra. Natuurlijk kan de bepaling van de positie van deze ringbergen vele kilometers ernaast zijn, maar het bestaan ervan beschouwde hij als vrij zeker.

Men kan trachten zich op deze wijze een beeld te vormen van de andere kant van de maan. Wilkins ontwierp er een kaart van. Een aantal van de door hem ontdekte ringbergen en vlakten in de randgebieden heeft hij van namen voorzien. De vlakten, die hij op de achterkant tekende, berusten echter op louter fantasie.

In dit stadium was men met het onderzoek van de achterkant van de maan blijven steken toen op 7 oktober 1959 de *Loenik* 3 voor de eerste maal de door de zon verlichte bergen van dit on-

bekende gebied fotografeerde (pl. II). De lancering vond op 4 oktober plaats; het ruimtestation passeerde de maan op een afstand van enkele duizenden kilometers en veranderde intussen door de aantrekkingskracht van de maan van richting. De Loenik passeerde ten zuiden van de maan op 7400 km van het middelpunt. Nu werd de baan noordwaarts afgebogen en deze afbuiging verliep zo, dat de Loenik tenslotte aan een tocht terug naar de aarde begon in de richting van het noordelijk halfrond, zodat de Russische volgstations gemakkelijk kontakt met het ruimteschip konden opnemen. Hoewel het de aarde op 50000 km passeerde, bleek radioverbinding zeer goed mogelijk.

De opnamen werden op 7 oktober gemaakt. Het fotograferen begon om 3^h30^m UT en duurde tot 4^h10^m. Gedurende die tijd verwijderde de Loenik zich van de maan van 62500 tot 68400 km. Het fotografisch systeem in de kabine bestond uit twee kamera's met twee verschillende objektieven, een miniatuur ontwikkel- en fixeerapparatuur, een miniatuur-katodestraalbuis, een versterker (fotomultiplier) en een zender met automatische kontrole. Om het fotografisch materiaal tegen de invloed van de kosmische straling tijdens de vlucht door de ruimte van de aarde naar de maan te beschermen, waren speciale voorzorgen getroffen en alle toestellen waren zo gebouwd, dat ze ook konden werken bij afwezigheid van de zwaartekracht.

De ene kamera had een lens met een brandpuntsafstand van 20, de andere van 50 cm en de lichtsterkten waren resp. f/5,6 en f/9,5. De eerste kamera gaf een beeld van de gehele maanschijf, terwijl de andere met de langere brandpuntsafstand een deel van de maan opnam. Met beide instrumenten werden reeksen foto's gemaakt op 35 mm-film, die geschikt was voor gebruik bij hogere temperaturen. Er werd een groot aantal opnamen gemaakt met allerlei belichtingstijden, zodat er altijd wel een aantal bij moesten zijn die zouden slagen, omdat de negatieven niet te licht of te donker waren. Na de belichting werd de film automatisch ontwikkeld, gefixeerd en gedroogd, waarna hij overging in een ander apparaat voor het overzenden van de beeldjes. Dit gebeurde pas, nadat er vanaf de aarde per radio een bepaalde opdracht was gegeven aan het instrument. Zodra het dit sein had ontvangen, ging een mechanisme werken dat de film in de juiste stand bracht, het televisiezendertje in het ruimteschip op gang

bracht en de beeldjes lijn voor lijn uitzond. Dit gebeurde op precies dezelfde manier als bij onze gewone televisie, waar ook zo dikwijls een film wordt uitgezonden. De film was tevoren reeds op aarde van bepaalde merktekens voorzien, die er op waren aangebracht als maat voor de zwarting en die nu weer mee terug werden uitgezonden.

Alle radioapparatuur, zowel in het ruimtestation als op aarde, was in tweevoud aanwezig, zodat bij het uitvallen van een van beide zenders of ontvangers de andere zou blijven werken. Met zeer grote antennes, speciaal geschikt voor het opvangen van de zeer zwakke signalen van de Loenik, slaagde men er in de seinen te registreren. Het vermogen van het zendertje in het ruimteschip was honderd miljoen maal minder dan dat van een gemiddelde televisiezender, terwijl het zich ook nog op een grote afstand van de aarde bevond. Zulke zwakke signalen kunnen alleen ontdekt worden door zeer gevoelige ontvangstapparatuur met een zeer laag ruisniveau (ontstaan door het radiogeruis van de achtergrond), dat dan ook op allerlei manieren sterk werd verlaagd. Zo werd het beeldje van de maan ontvangen door een televisieontvanger, die de seinen opnam op een film en tevens op een magnetische band vastlegde. Op deze manier werden beeldjes van afstanden van bijna 400000 km overgebracht.

Op het uitgekozen tijdstip was het onmogelijk opnamen te maken van de gehele achterkant van de maan. Zo vertonen de foto's slechts een gedeelte van het onbekende halfrond tezamen met een klein deel van de reeds bekende maankant. Een nadeel bij het opnemen was, dat de maanschijf, die vanuit de Loenik werd gefotografeerd, bijna vol was, want bij volle maan werpen de bergen geen schaduwen en sommige zijn niet gemakkelijk te zien. Doordat echter een groot aantal bergen en vlakten op de foto's voorkwamen, die reeds bekend waren uit de randgebieden van de naar ons toegekeerde helft, was het mogelijk het onbekende gebied hierbij aan te sluiten en daarmee te vergelijken en zo te bestuderen.

Omdat de beeldjes van de maan van de beide kamera's slechts 10 en 25 mm in doorsnede waren, werden ze van de magnetische band op aarde tienmaal vergroot. De daaruit verkregen beeldjes zijn gereproduceerd in een atlas van de achterkant van de maan, die is uitgegeven door de Akademie van Wetenschap-

pen van de USSR. Omdat de negatieven natuurlijk ieder voor zich bepaalde tekortkomingen vertoonden, waarbij de ene soms een onvolmaaktheid van de andere korrigeerde, werden ze soms op elkaar gelegd en zo gekontroleerd en zonodig gekorrigeerd. Dit werd uiteraard zo gedaan, dat ze met bepaalde goed zichtbare details precies op elkaar pasten. Zo was men in staat allerlei bijzonderheden en kleine objekten op de achterkant te ontdekken. Met vernuftige fotografische methoden werd het kontrast in bepaalde gebieden versterkt; op die manier vergrootte men de zeer geringe helderheidsverschillen en kon men uit de opnamen zoveel mogelijk bijzonderheden halen. De resultaten werden tenslotte samengevat in een grote kaart, die het gehele ontdekte gebied en een deel van de moeilijk waarneembare randgebieden weergeeft. De streken voorbij 90° selenografische lengte liggen aan de achterkant. Die in de buurt van 90° zijn bij gunstige libratie nog enigszins te zien. Ringbergen, zoals Joliot Curie, Lomonosov e.d., waren reeds ontdekt, maar de verder gelegen gebieden waren volledig onbekend. De kaart die de Russen publiceerden, gaf de nieuw ontdekte gebieden duidelijk weer. Zij stelde dan ook niet de gehele achterkant van de maan voor, omdat dan de nieuw ontdekte gebieden voor een groot deel weer te veel aan de rand van de kaart waren komen te liggen om duidelijk zichtbaar te zijn (pl. II).

Van de vlakten vermelden wij eerst Mare Humboldtianum, die vanuit de aarde helemaal aan de rand en dan alleen nog maar zeer vervormd kan worden waargenomen. Het oostelijk deel is donker, naar het westen toe wordt de bodem van de vlakte langzamerhand lichter. Haar afmetingen zijn 250 km van noord naar zuid, 180 km van oost naar west en er zijn een aantal ringbergen in te zien. Mare Marginis is ook van de aarde af alleen bij gunstige libratie zichtbaar, evenals Mare Australe, die slechts gedeeltelijk bekend was. Het is een uitgestrekte vlakte met een donkere bodem en talrijke kraters er in. De omtrek is vrij onregelmatig en de diameter bijna 1000 km. Zij wordt omgeven door gebieden met grote helderheid.

Van de in de onzichtbare helft gelegen formaties noemen wij allereerst de Zee van Moskou, die op alle foto's te zien is als een donker objekt temidden van een lichtere achtergrond. Het zuidelijk gedeelte ervan loopt uit in een bocht, die de Russische ge-

leerden Baai van de Astronauten hebben genoemd. De helderheid van de bodem van de Zee van Moskou is niet overal gelijk, hetgeen wijst op een niet volkomen vlak gelegen terrein. In het midden schijnt een helder gebied, misschien een kleine ringberg, te liggen. De helderheid van de bodem lijkt op die van Mare Smythii en Mare Marginis. De diameter van deze grote walvlakte is omstreeks 250 km.

Een der grootste ringbergen aan de achterkant is Tsiolkowsky, die ook op alle foto's duidelijk te zien is. Het binnengebied van deze kuil vertoont een tamelijk ingewikkelde bodemstruktuur met een vrij geringe helderheid. Om de gehele formatie ligt een brede wal, die aan de westkant lichter is. Deze ringberg is van oost tot west bijna 200 km in diameter en is dus eigenlijk ook een grote walvlakte.

Het Sovjetgebergte is ook een zeer merkwaardig objekt: het strekt zich over een geweldige afstand uit van 10° noorderbreedte tot 20° zuiderbreedte, aanzienlijk verbreed bij de evenaar. De totale lengte van deze bergketen is bijna 1000 km. Een zeer heldere ringberg op de achterkant is Giordano Bruno, nummer 699, gelegen in een zeer helder hoogland. Deze berg wordt omringd door een systeem van heldere stralen en is waarschijnlijk de ringberg, die op de kaart van Wilkins gelegen is in zijn Mare Incognito. Het bestaan van die vlakte – die volgens Wilkins geheel aan de achterkant van de maan zou liggen en alleen bij gunstige libratie juist achter bergketens tevoorschijn scheen te komen – is door de Russische opnamen niet bevestigd; het wordt gesuggereerd door uitlopers van het Sovjetgebergte, waar men bij zeer gunstige libratie juist overheen ziet, zodat het lijkt alsof het er achter gelegen hoogland een vlakte is, waarin een glimp van het stralenstelsel van Giordano Bruno net even te zien is.

De Loenik 3 vormde een suksesvolle slotfase, want gedurende vele jaren werd nu het zo geslaagde Loenik-programma stopgezet. Blijkbaar had de prestatie van de Loenik 3, die om de maan cirkelde, aan de grens gelegen van het bereikbare, althans met de techniek van dat ogenblik. Pas op 2 april 1963 werd de Loenik 4 gelanceerd, een 1422 kg zware bol, die na een reis van 3 à 4 dagen de maan op 6400 km passeerde en in een baan om de zon kwam. In plaats van Loenik wordt deze ruimteverkenner ook wel Loena

genoemd en sedert deze tijd spreekt men niet meer over Loeniks maar over Loena's; we zullen dit spraakgebruik verder volgen. Meer dan twee jaar later volgde de tocht van de Loena 5, die te pletter sloeg in de Mare Nubium na een vlucht van 75 uur. Het was de bedoeling deze kapsule een zachte landing te laten uitvoeren op de maan. De remraketten kwamen echter vijf minuten te laat in werking en daardoor mislukte de zachte landing. Ook Loena 6 (8 juni 1965) was een pechvogel. Bij de baankorrektie op 10 juni weigerden de hulpraketten, die de korrektie uitvoerden, te stoppen en daardoor werd de baan overgekorrigeerd, zodat de veel te snel voortijlende Loena de maan op grote afstand passeerde. Het verhaal dreigt eentonig te worden, want zowel Loena 7 als Loena 8 sloeg op de maan te pletter. Het op het juiste moment in werking stellen van de remraketten bleek een groot probleem. Er worden signalen uitgezonden vanuit de kapsule naar de maanbodem en de echo van dit radarsignaal wordt geregistreerd. Uit de waargenomen echo berekent de computer in de kabine bliksemsnel de juiste afstand tot de maan. Omdat deze zeer snel afneemt moet alles feilloos en zeer efficiënt werken; op het kritieke moment moeten de remraketten in werking gesteld worden. Dit wordt van tevoren berekend uit de snelheid van de kabine, het vermogen van de remraketten en de af te leggen afstand.

Intussen bracht de zomer van 1965 een ander Russisch sukses op dit gebied. De Russen waren reeds enige tijd bezig met het *projekt-Zond*. De Zonds waren interplanetaire ruimteschepen, die vanuit de aarde naar Venus of Mars gedirigeerd moesten worden. Zij waren uitgerust met een fotokamera en gerichte antennes voor verbinding over grote afstanden. De Zond 3, die op 18 juli 1965 was gelanceerd en na 3 uur in een parkeerbaan om de aarde te hebben gelopen op weg ging, speelde een grote rol bij de verkenning van het maanland. Na een tocht van 33 uur passeerde hij de maan en de Russen maakten daar gebruik van door zijn kamera opnieuw een geslaagde serie van 25 foto's van de achterkant te laten nemen. Gedurende 68 minuten fotografeerde de 106 mm-kamera (f/8) de door de zon verlichte achterkant. Iedere opname duurde 0,01 of 0,03 sekonde; de opnamen werden negen weken later naar de aarde gezonden, omdat de Zond zich intussen van de aarde had verwijderd en pas vanaf deze grote af-

stand de gerichte antenne gebruikt kon worden. Ieder beeld werd overgeseind als 1100 lijnen van 860 punten. De foto's van de Zond 3 (pl. III) vormen een mooie aanvulling op die van Loenik 3 (fig. 21). De Zond naderde de maan van de westkant en fotografeerde juist het gebied, dat zich tijdens de opnamen door de Loenik 3 in het donker had bevonden. Beide series foto's beslaan bijna de gehele achterkant en stellen ons in staat een tamelijk uitgebreide kaart van de voor ons onzichtbare helft te ontwerpen. Op de achterkant van de maan komen geen grote vlakten voor. Misschien bevindt er zich op het zuidelijke halfrond in het kleine nu nog onverkende gebied, nog een vlakte, waarvan de Loena-opnamen reeds iets laten zien (de Zee der Dromen), maar de

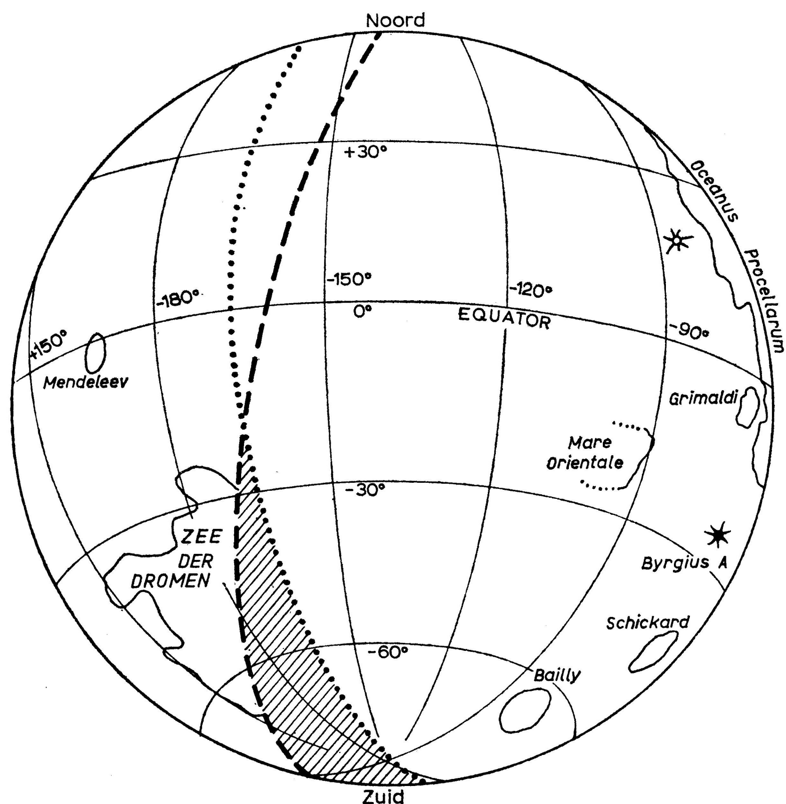


Fig. 21 Loenik 3 fotografeerde het deel van de achterkant van de maan links van de stippellijn, Zond 3 bijna de rest, rechts van de streepjeslijn.

helderheid van de bodem lijkt er niet zo gering. Overigens verschillen de formaties op de achterkant niet veel van die op de zichtbare helft. Een gebied rijk aan kraters met bergketens en stralenstelsels vormt het grootste deel van de achterkant van de maanbol. Opvallend op de opnamen door de Zond zijn de kraterreeksen, die uitlopen van het heldere gebied ten noorden van Mare Orientalis. Deze vlakte, die zich aan de uiterste rand van de voor ons zichtbare helft bevindt, is op de opnamen van de Zond in volle glorie zichtbaar. De kraterreeksen zijn soms 1500 km lang en bestaan uit kratertjes van 10 tot 30 km.

De opnamen door de Zond worden nog uitgebreid bestudeerd; hiermee houdt zich het Sternberg Astronomisch Instituut in Moskou bezig. Op de achterkant van de maan vond het een aantal grote komvormige inzinkingen, groter dan de walvlakten van de voorkant. Zij worden *thallasoïden* genoemd en hebben diameters tot 500 km. Ze onderscheiden zich van de vlakten op de voorkant doordat ze geen donkere bodem vertonen. Misschien is het gebied rondom Mare Necataris op de voorkant een grote thallasoïde. De vlakte ligt daar dan in.

Eindelijk volgde in januari 1966 de zo lang door de Russen gewenste zachte landing. De *Loena* 9, die op 31 januari 1966 werd gelanceerd, bereikte na een tocht van 3,5 dag de maan na een goed gelukte koerskorrektie op 1 februari. Op 75 km van de maanbodem werden de remraketten aangezet en in 48 sekonden remden zij het ruimteschip af. Vlak voordat de Loena insloeg werd de kapsule met de kamera afgestoten. Die landde op enige afstand van de raket. Zij kwam daardoor op maagdelijk terrein terecht, dat niet was beroerd door de remraketten. De kamera met de apparatuur woog toen nog maar 100 kg. Vier bladvormige kappen, die de kamera beschermden, werden uitgeklapt vier minuten na aankomst en de antennes werden uitgestoken voor kontakt met de aarde (pl. III). Het landingsterrein lag in de Oceaan der Stormen op 100 km ten noordoosten van Cavalerius.

Op 4 en 5 februari werden de eerste foto's van de maan uitgezonden, die door een kamera werden gemaakt 60 cm boven de maanbodem. Deze kamera kon 360° draaien om panoramafoto's te maken van het gebied rondom de Loena. De as van de kapsule met de kamera maakte een hoek van 60° met de horizon in plaats van er loodrecht op te staan, zoals de bedoeling was; blijkbaar

verloopt de bodem waarop de Loena staat niet vlak. Daardoor ligt de horizon in het westen boven het fotobeeld en in het oosten er onder. Tijdens de dagen van de opnamen schijnt de stand van de Loena zich iets te hebben gewijzigd; deze kanteling maakt stereoskopische analyse van de vier gemaakte panoramafoto's mogelijk. Bovendien steeg de zon intussen van 3° tot 41° hoogte waardoor men een beter inzicht in de struktuur van kraterwanden en stenen verkreeg.

De eerste serie opnamen van de Loena werd ook te Jodrell Bank in Engeland opgevangen; ook hier slaagde men erin de seinen in beelden te 'vertalen'. De daar opgevangen foto's werden door de direkteur Lovell aan de pers doorgegeven voor publikatie nog voor de officiële Russische waren uitgekomen. Zij toonden een zeer ruwe puimsteenachtige bodem van poreus materiaal met stenen en rotskegels van enkele meters of minder.

De officiële Russische publikaties volgden veel later en verbeterden de horizontale en vertikale schaal enigszins. De afstand tot de horizon is 1,5 km en op de voorgrond zijn details van 1 à 2 mm nog te zien. Ook zijn bijzonderheden van de kapsule zichtbaar, onder andere spiegels, waarin delen van de maanbodem worden weerspiegeld. Waarschijnlijk staat de Loena in een kleine krater van ongeveer 16 m middellijn. Door de bodem lopen groeven van 2 à 3 cm breed en 25 à 30 cm lengte.

Het licht dat de maan ons toezendt, is teruggekaatst zonlicht. Het gewone zonlicht noemt men *natuurlijk* of *ongepolariseerd licht,* hetgeen betekent: licht, waarin alle trillingsrichtingen even sterk zijn vertegenwoordigd. Wanneer dit licht door een of andere stof wordt teruggekaatst – bijvoorbeeld door de maanbodem – wordt het gedeeltelijk gepolariseerd. De Franse astronoom Lyot heeft precies nagegaan hoe polarisatie verandert als de maanfase verandert. Later liet hij in zijn laboratorium op verschillende stoffen natuurlijk licht vallen en mat daarna de polarisatiegraad van het teruggekaatste licht in verschillende richtingen. Het bleek, dat de meting van vulkanische as het meest overeenkwam met die van de maan. Dit was een aanwijzing voor de samenstelling van de maanbodem.

Tijdens maansverduisteringen kan men uit het temperatuursverloop van de maanbodem de warmtegeleiding ter plaatse afleiden. Een treffende overeenstemming tussen de resultaten van

de polarisatiemetingen en de warmtegeleiding heeft aanleiding gegeven tot een schijnbaar goed gefundeerde mening over de samenstelling van de maanbodem; in die mate zelfs, dat omstreeks het midden van deze eeuw de verschillende onderzoekers alleen nog maar pogingen in het werk stelden een juist denkbeeld te krijgen over de dikte van die as- of stoflaag.

Tot een volkomen ander idee kwam men echter reeds in die tijd door de *fotometrie*, waarmee men naging hoe de helderheid van bepaalde kleine gebiedjes op de maan met de fase varieerde. Een grafiek van zo'n variatie heet een *lunatiekromme* en vertoont allerlei specifieke bijzonderheden. De grafieken bestaan zonder uitzondering wanneer volle maan nadert uit steil verlopende krommen met een hoogste punt, de top, bij een fase 0°, dat is juist bij volle maan, onverschillig waar het gebiedje in kwestie op de maan ligt. De vorm van die krommen hangt ook niet af van het aantal graden noorder- of zuiderbreedte van het gebied, waarbij de kromme behoort, maar alleen van de lengte en het maximum ligt altijd bij volle maan. Een andere merkwaardige eigenschap is de steilheid van alle lunatiekrommen bij volle maan, die zowel bij punten in de buurt van de centrale meridiaan als bij meer westelijk of oostelijk gelegen punten duidelijk zichtbaar is.

Zulke typische lunatiekrommen vertonen vulkanische assen in een laboratorium echter allerminst. Zij hebben de neiging hun maximum te vertonen als de lamp ze onder een minimale invalshoek beschijnt en niet als ze waargenomen worden in dezelfde richting als waarin ze worden belicht (afgezien van de loodrechte waarnemingsrichting). Men kan dit typische maanverschijnsel verklaren met een 'kuiltjeshypothese'. Als we aannemen dat overal in de maanbodem zich zeer veel kleine kuiltjes en gaatjes bevinden, is het duidelijk, dat alleen onder de omstandigheden van volle maan, wanneer wij vanaf de aarde in dezelfde richting de maanbodem zien als waarin de zon haar beschijnt, een maximale lichtsterkte zal optreden. Dat komt, doordat we dan alles wat we van de maanbodem kunnen zien ook volledig verlicht zullen zien. Zodra de zon vanuit een andere richting schijnt, zal ze misschien op bepaalde plaatsen wel een groter deel van de bodem verlichten, maar stellig een kleiner gedeelte van het *vanaf de aarde waarneembare* gebied; immers we overzien vanaf de aarde

steeds hetzelfde terrein als bij volle maan, omdat de maan ons steeds dezelfde kant toekeert. Intussen is echter een gedeelte van dat naar ons toegekeerde gebied in schaduw gehuld, omdat het uit kuilen en spleten bestaat.

Ook het fotometrisch gedrag van gesteenten en allerlei poeders en stoffen kan in het laboratorium worden onderzocht onder gelijke omstandigheden; wij zagen reeds dat vulkanische as niet voldoet. Ook de meeste gesteenten falen door gebrek aan porositeit. Slechts zeer poreuze lavasoorten en sponsachtig natuurlijk materiaal kunnen het waargenomen helderheidsverloop verklaren.

Ook de door Russische onderzoekers uitgevoerde kleurmetingen van het maangesteente vertonen geen enkele overeenstemming met aardse materialen. De spreiding van de op de maan waargenomen kleuren is veel geringer dan van welke monsters van aardse gesteenten ook. Dat ook bij deze metingen stof of vulkanische as niet met de maan overeenkomt, is weer een argument tegen een asbodem.

De waarnemingen wijzen op een ander soort bodem – wanneer wij de ontwikkelingsgeschiedenis van de maankorst in de loop der miljoenen eeuwen die zijn vervlogen sinds het ontstaan van dat hemellichaam eens uitvoerig nagaan, zullen wij begrijpen, dat de oorspronkelijke bodem, uit welk materiaal dan ook bestaande, door invloeden van buiten af sterk is veranderd. De mikrostruktuur zal door uitwendige invloeden sterk zijn gewijzigd en misschien kan de daardoor ontstane bodem in sommige opzichten wel overeenkomen met aards stof of as, doch zij moet in ieder geval niet gezien worden als een losliggend poeder. Het is eerder een zeer poreus zacht materiaal, waarvan de hardheid niet bekend was. Men behoefde niet te verwachten, dat de eerste gelande kabine op de maan in een stofzee zou wegzakken, maar wel was men nieuwsgierig of de landing zou plaatsvinden op een zacht verend bros gesteente of misschien op een sponsachtige bodem, waarin een ruimteschip als in een moeras zou kunnen verzinken. De dikte van die oppervlaktelaag en de aard van het hardere gesteente eronder waren eveneens onbekend en men hoopt er zo meer over te weten te komen.

Loena 9 bewees, dat de maanbodem een ruimtevaarder en zijn kabine gemakkelijk kan dragen. De op de foto's afgebeelde rot-

sen zijn slechts weinig in de bodem weggezakt. Ook de Loena zelf is nauwelijks merkbaar in de ondergrond weggezakt. De hardheid van de maanbodem is voldoende; een belangrijk probleem voor reizen naar de maan was opgelost.

Daarna kwam het volgende vraagstuk aan de orde: waar zou men het best kunnen landen op onze satelliet? Met het oog op deze vraag werden nieuwe Loena's ontworpen om bepaalde maanstreken gedetailleerd in kaart te brengen en zo naar geschikte landingsterreinen te zoeken. Loena 10 (in april 1966) werd in de buurt van de maan voldoende afgeremd om haar baan zo te wijzigen, dat zij een satelliet van de maan werd. Bij de nadering van de maan op 8000 km van het maanoppervlak remde een raketmotor het ruimteschip en reduceerde de snelheid van 1,3 tot 0,8 km/sek. Twintig minuten later werd de laatste trap losgemaakt, dat was de 245 kg zware Loena 10 en die kwam in een elliptische baan om de maan tussen 350 en 1010 km van het maanoppervlak. In drie uur liep de Loena om de maan en verrichtte allerlei metingen. Zij ontdekte sporen van een magnetisch veld en registreerde een sterke gammastraling. Op 9 april ontdekte zij een elektronenstroom 70 à 100 keer sterker dan de kosmische straling. Ook Loena 11 was een maansatelliet, die de omgeving van de maan verkende, terwijl zij evenals Loena 12 (22 oktober gelanceerd) foto's vervaardigde van het maanoppervlak (pl. III). Een overzicht van de banen van deze satellieten vindt men in het tabelletje aan het eind van dit hoofdstuk.

Eind 1966 volgde de Loena 13, die weer een zachte landing verrichtte in de Oceanus Procellarum. Een kamera in de kabine verkende het maanoppervlak en zond opnieuw foto's naar de aarde. Bovendien was deze verkenner uitgerust met twee mechanische armen, die de maanbodem konden aftasten. Dat waren anderhalve meter lange uitsteeksels. Een van die armen droeg aan haar uiteinde een soort geweer, dat een stok in de maan boorde door middel van een explosieve lading. Duur en kracht van de stoot werden geregistreerd en uit de diepte die het instrument bereikte, kon men de hardheid van de maankorst ondubbelzinnig vaststellen. Die bleek ongeveer even groot te zijn als de gemiddelde hardheid van de aardbodem.

De andere arm droeg een gammastralingsmeter, waardoor men de dichtheid van de bovenste maanlaag hoopte te kunnen

bepalen. Deze bleek minder te zijn dan 1 g/cm^3. Dat is heel weinig en wijst op een zeer poreus materiaal.

Overzicht van het projekt-Loena

jaar	*lanceerdatum*	*no.*	*opmerkingen*
1959	2 januari	1	kunstplaneet 149064000 en 145560000 km van de zon in 443 dagen e = 0,15
	12 september	2	sloeg na 35 h te pletter op maan
	4 oktober	3	satelliet om maan en aarde tussen 40000 en 470000 km
1963	2 april	4	kunstplaneet
1965	9 mei	5	sloeg op 12 mei op maan te pletter
	8 juni	6	werd kunstplaneet
	4 oktober	7	sloeg op maan te pletter
	3 december	8	sloeg op maan te pletter
1966	31 januari	9	landde zacht op de maan op 3 februari
	31 maart	10	cirkelde om de maan tussen 350 en 1010 km in 178 min.
	24 augustus	11	cirkelde om de maan tussen 160 en 1200 km in 178 min.
	22 oktober	12	cirkelde om de maan tussen 95 en 1510 km in 249 min.
	21 december	13	landde zacht op de maan op 24 december

achtste hoofdstuk

voorbereiding voor bemande ruimtevaart

Kerstboodschap uit de ruimte – Het projekt-Score – Ook de Amerikanen worstelen met de terugkeerproblemen – Retroraketten werken pas na stabilisatie – Van NACA tot NASA – De luchtmacht lanceert vanuit Californië – Het projekt-Discoverer – Bijzonderheden van polaire banen – Kapsule verdwijnt bij Spitsbergen in de Oceaan – De onbekende satelliet – Discoverer 5 was de oorzaak – Pas 13 was een geluksgetal – Daling in een geïoniseerde wolk – Een C 119 ontdekt de kapsule – Lichtflitsen in de ruimte – Discoverer 14 werd in de lucht opgevangen – Onderzoek naar stralingsgevaar – Biologische preparaten vormden een begin – Een lange reeks Discoverers – Straling van een zonnevlam – Tritium gevonden – Het projekt-Midas – Het Westford-plan – Radioamateurs krijgen een kans – Een ruimtelaboratorium op komst.

Ten opzichte van de Russische prestaties leken de Amerikaanse kunstmaantjes uit 1958 slechts lilliputters. Blijkbaar beschikten de Russen over enorme raketten, waarmee ze kunstmanen van vele honderden kilo's in banen om de aarde konden brengen.

Om het verlies van hun prestige op internationaal niveau, dat hiermee natuurlijk gepaard ging, enigszins tegen te gaan, haalden de Amerikanen op 18 december 1958 een stunt uit. Zij lanceerden ook een ruimtereus, de *Score* of de zogenaamde sprekende satelliet. Het was eigenlijk geen echte kunstmaan, maar enkel en alleen de tweede trap van de lanceerraket, die in een baan om de aarde was gebracht. Zo'n tweede trap is uiteraard een omvangrijk voorwerp (24 m lang) en het gewicht van deze bijzondere satelliet, 3940 kg, leek dan ook indrukwekkend groot. In iets meer dan 101 minuten draaide hij om de aarde in een sterk excentrische baan tussen 176 en 1472 km hoogte. De naam 'Score' is afgeleid van 'Signal Communication Orbit Relay Experiment'. In de zijwanden van de tweede trap van de raket bevonden zich elektronische apparaten voor het opnemen en weergeven van radioboodschappen. Tijdens de kerstdagen van 1958 zond de Score een boodschap van de toenmalige Amerikaanse president

Eisenhower uit. Ongeveer een maand later op 21 januari 1959 verbrandde de kunstmaan in de dampkring ergens boven de Grote Oceaan.

Niettemin toonde het Score-projekt aan, dat het mogelijk was een omvangrijke en zware kabine in een baan om de aarde te brengen, een eerste vereiste voor een eventueel bemande kunstmaan. Het is duidelijk, dat een reis per satelliet om de aarde voor de mens echter onmogelijk is, zolang de kunstmaan niet in staat is betrekkelijk onbeschadigd door de dampkring naar de aarde terug te keren. Dit *re-entry probleem*, zoals men het in het vakjargon noemt, was het eerste vraagstuk dat men diende op te lossen voor de bemande ruimtevaart.

Wij stonden in die tijd nog midden in het tijdperk van de open discussie, waarin soms geleerden van naam met argumenten pro en contra de mogelijkheid van menselijke raketreizen bespraken. Voor een veilige terugkeer is het nodig de satelliet eerst sterk af te remmen. Wij zagen reeds (formule 9) dat de wrijvingskracht evenredig is met het kwadraat van de snelheid. Beperkt men dus de snelheid, voordat de kabine de dichtere lagen van de dampkring bereikt, dan zal de optredende wrijvingskracht sterk verminderd zijn. Daardoor zal de warmteontwikkeling ook afnemen en als de snelheid tijdig voldoende is gereduceerd, zal de kapsule niet meer volledig verbranden.

Dat afremmen in de lege ruimte moet gebeuren met behulp van raketmotoren, die een kracht uitoefenen in een richting tegengesteld aan de beweging van de satelliet. Men noemt die de *retroraketten*; het is niet moeilijk deze in een kunstmaan in te bouwen en op een bepaald tijdstip door een draadloos signaal vanaf de aarde in werking te stellen. Moeilijker is het echter er voor te zorgen, dat die raketjes precies in de juiste richting werken. Daarvoor zal men de kabine, waaraan de raketjes gemonteerd zijn, eerst in een juiste stand moeten draaien. Het is dus noodzakelijk, dat de kapsule precies in een bepaalde stand geplaatst kan worden. Dit probleem heeft ook de Russen heel wat moeilijkheden opgeleverd, zoals we reeds zagen bij de bespreking van de Spoetnik 4, waar de retroraketten in de verkeerde richting werkten en de kunstmaan juist versnelden. Ook de Amerikanen zagen in dat zij, alvorens te kunnen gaan denken aan echte bemande ruimtevaart, het *stabilisatieprobleem* moesten oplossen,

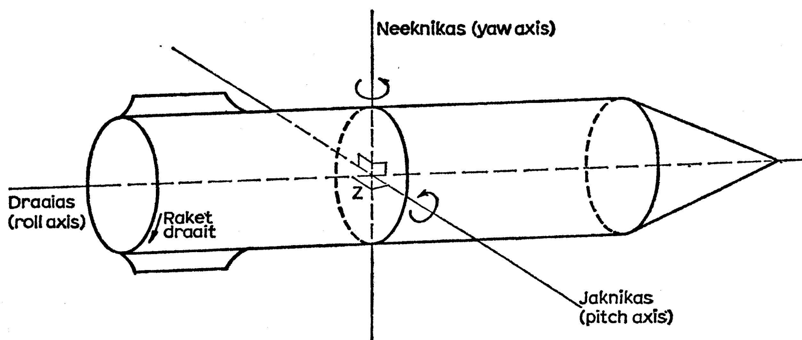


Fig. 22 Een raket of kunstmaan, die niet gestabiliseerd is, kan om drie assen gaan draaien, die in het vakjargon roll-, yaw- en pitch-as heten. Om de eerste as kan de raket gaan rollen als een wals, om de tweede draait hij als een draaimolen en om de derde kan hij kopjeduikelen.

dus methoden moesten ontwerpen en beproeven om een satelliet stabiel in zijn baan te houden, vast gericht in een bepaalde stand (fig. 22) die eventueel zou zijn te veranderen. Voorlopig trachtte men stabilisatie om een der assen te bewerkstelligen. Pas daarna zou men dat ook voor de beide andere assen kunnen beproeven. Het oplossen van het stabilisatievraagstuk ging dus aan de proeven met retroraketten vooraf.

Om een kunstmaan of raket te stabiliseren zijn allerlei verschillende methoden uitgedacht en beproefd waarvan wij enkele laten volgen:

1. Schiet een zwaar gewicht vanuit de kunstmaan dat ermee verbonden blijft door een spiraalvormige veer van vele meters lengte, die oorspronkelijk in de kunstmaan samengedrukt zat. Het haltervormige lichaam zal door de gravitatiekrachten worden opgericht (fig. 23a), waardoor de rotatie wordt geremd.
2. Bouw gyroskopen in de satelliet en zorg, dat deze een vaste stand in de ruimte behoudt ten opzichte van de met de gyroskopen bepaalde vaste richting. Deze ligt vast door middel van een gestabiliseerd platform, dat vrij draaibaar is tussen drie cardanusringen (theoretisch zou men met twee kunnen volstaan). Voor de start stelt men het rechthoekige platform in een bepaalde stand, de bodem loodrecht op de lengteas van

de raket, terwijl een van de zijkanten van de rechthoek loodrecht op de gewenste baan wordt gesteld. Hoe nu de raket ook draait om haar assen, het platform blijft in dezelfde stand staan en verschaft een vast coördinatenstelsel voor oriëntatie. Wijkt een van de raketassen in een verkeerde richting uit, dan draait die ten opzichte van de asrichtingen van het platform; deze draaiing wordt direkt overgebracht op een computer, die de raket dan weer bijstuurt. Zo kan ook een satelliet met hulpraketjes voor een bepaalde tijd worden bijgestuurd en gestabiliseerd blijven. Deze methode kost voortdurend brandstof.

3. Oriënteer de satelliet op de zon door middel van een zonnesensor (bestaande uit lichtgevoelige cellen) of voor de lichtdruk gevoelige apparatuur. Het systeem werkt niet in de

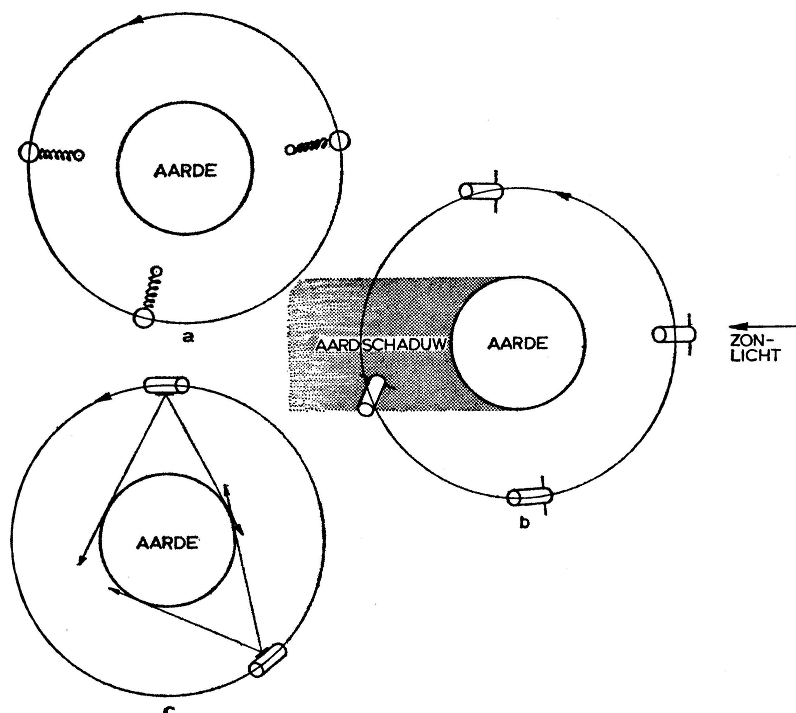


Fig. 23 Drie methoden om een satelliet te stabiliseren (er zijn er wel meer): a. met een gewicht, dat aan een veer wordt uitgestoten; b. met een zon-sensor; c. met infrarood horizon-sensors.

schaduw van de aarde en een ander nadeel is dat de stand van de satelliet ten opzichte van de aarde verandert (fig. 23b). Ook dit systeem eist korrekties en dus brandstof. Het is zeer geschikt voor kunstplaneten (bijv. toegepast bij de Mariner 4).

4. Gebruik infraroodsensors, die de horizon aftasten en zorgen dat de satelliet in dezelfde stand blijft ten opzichte van de aarde (fig. 23c). Ook hierbij is er brandstofverbruik door koerskorrekties.

Op organisatorisch gebied was er in Amerika intussen ook het een en ander gewijzigd. Reeds op 23 augustus 1958 nam het Congres de 'Science Aid Act' aan, waarbij 900 miljoen dollar beschikbaar werd gesteld voor de ontwikkeling van de wetenschap. In het departement van defensie werd de 'Advanced Research Projects Agency' gesticht, die later werd uitgebreid met een programma voor vreedzaam onderzoek en toen werd omgedoopt in NACA ('National Advisory Committee on Aeronautics'). Dit zou een speciale organisatie worden ten behoeve van de ruimtevaart. Spoedig echter werd een wet aangenomen, de National Aeronautics and Space Act, speciaal ten behoeve van de ruimtevaart. Daarbij werd een organisatie in het leven geroepen, die slechts aan de Amerikaanse president verantwoording schuldig was en de taak van de NACA overnam. Haar naam verschilde slechts een letter: de NASA, de 'National Aeronautics and Space Administration' was haar werk begonnen. Langzamerhand nam zij steeds meer programma's over. Behalve de direkte lanceringen regelde zij ook talloze andere problemen die met de ruimtevaart, de ontwikkeling daarvan en de daarvoor benodigde studie verband hielden. Zij financierde niet alleen de talrijke projekten, maar ook de wetenschappelijke research in meest uitgebreide zin van het woord. De NASA is voor het Amerikaanse wetenschappelijke werk een van de belangrijkste organisaties geworden.

Niet onmiddellijk heeft ieder onderdeel van de Amerikaanse strijdkrachten zijn aktiviteit op ruimtegebied aan de NASA overgedragen. In het bijzonder de luchtmacht, die juist voorbereidingen aan het treffen was voor het oplossen van diverse met de bemande ruimtevaart samenhangende problemen, zette voorlopig nog haar eigen programma op uitgebreide schaal voort. Zij was bezig in Californië een lanceerbasis te bouwen, Vandenberg te

Point Arguello, die reeds spoedig gebruikt werd voor eerste proefnemingen. Deze experimenten staan bekend onder de naam *projekt-Discoverer.*

De Discoverers waren kunstmanen, die in polaire banen gebracht werden. De vroegere Russische en Amerikaanse satellieten bewogen steeds in banen, die weliswaar een bepaalde hoek maakten met het vlak van de equator (de inklinatie = i), maar vooral bij de Amerikaanse maantjes was de i meestal niet groot. Polaire banen (fig. 24) hebben allerlei bijzonderheden. Daar het baanvlak van een kunstmaan in eerste instantie vast ligt ten opzichte van de sterren, verschuift het bij een polaire baan dagelijks 1° ten opzichte van de zon. De kunstmaan is op dezelfde plaats iedere dag iets westelijker te zien. De verschuiving is echter gering, zodat de satelliet verscheidene dagen in de schemeringszone van de aarde blijft lopen, als hij in de schemering wordt gelanceerd. Het beste is bij het begin van de morgenschemering of aan het einde van de avondschemering te lanceren. Afhankelijk van haar hoogte is de kunstmaan dan nog lang te zien. Valt de lancering overdag of 's nachts, dan is de satelliet lange tijd onzichtbaar, behalve in de poolstreken.

Dit was het geval met Discoverer 1. Door technische moeilijkheden kon de lancering op Vandenberg Air Force Base op 28 fe-

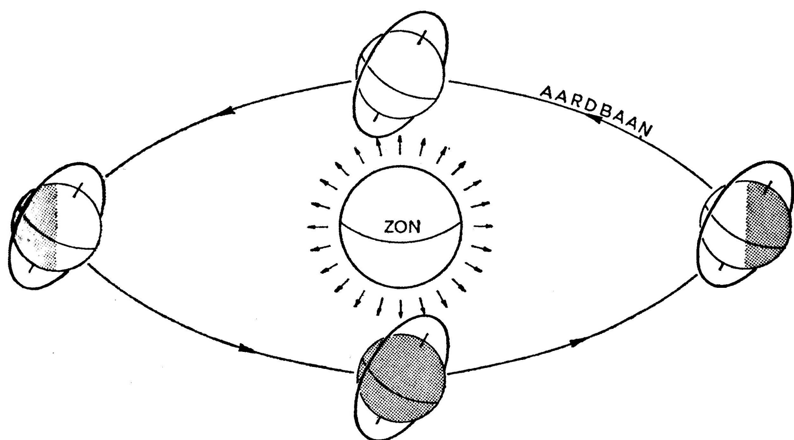


Fig. 24 Als de aarde om de zon draait blijft haar as dezelfde stand ten opzichte van de sterren houden (dit veroorzaakt de seizoenen). Op gelijke wijze blijft het baanvlak van een polaire satelliet vast ten opzichte van de sterren.

bruari 1959 pas om 21^h49^m U.T. plaatsvinden. Toen was het in Californië klaarlichte dag. De kunstmaan werd gevormd door de tweede trap van de raket. De eerste trap was een Thor, die 2,5 minuut werkte op kerosine en vloeibare zuurstof. De tweede trap, die pas 2,5 minuut nadat de eerste uitgewerkt was ontbrandde, was een Bell-raket. Deze was bijna 6 m lang en 1,5 m in doorsnede. Haar gewicht bedroeg bijna 600 kg en zij liep in 96 minuten om de aarde tussen 160 en 980 km hoogte. Het was de bedoeling, dat de satelliet gestabiliseerd zou bewegen in zijn baan maar het stabilisatiesysteem weigerde te werken.

Een lange rij Discoverers volgde. Bij de tweede werkte de stabilisatie beter. Nadat de Bell-raket was uitgewerkt, draaiden kleine raketmotortjes de lege raket totdat de achterkant vooraan was gekomen, en hielden voortdurend de lange as van de raket langs de omlooprichting van de baan. Een infrarood-detector tastte de horizon af en korrigeerde zonodig de stand van de kunstmaan door een of meer van de hulpraketjes even in werking te stellen. In de neus van de Discoverer bevond zich een kapsule van 70 cm lang, 80 cm in diameter, met een gewicht van 72 kg. Het was de bedoeling de kapsule op kommando te laten uitwerpen en dan via een parachute te laten dalen. Nadat de satelliet 27 uur in zijn baan had rondgelopen, bewerkte een ingesteld ontstekingsmechanisme de afschieting van de kapsule. De daarin gebouwde raketmotor sloeg direkt automatisch aan en vertraagde de kapsule. Deze was verder voorzien van een speciale neus, die in de dampkring geleidelijk smolt en verdampte. Daarna opende zich langzaam de parachute. Drie vissers ten noorden van Spitsbergen zagen hem dalen. Weliswaar kreeg men ook nog radiokontakt met de op de Oceaan gelande kapsule, maar ondanks ijverig zoeken werd zij niet gevonden. De in de Discoverer meegenomen filmpakketten ter registratie van de kosmische straling en de neutronendichtheid verdwenen met de kapsule.

Nog heel wat pogingen volgden. Bij de ene weigerde de raket te starten, bij de andere weigerde de radio, misschien ten gevolge van de lage temperatuur. In andere gevallen kon men de kapsule ondanks ijverig zoeken weer niet vinden. Een van die mislukte Discoverers kwam in februari 1960 in het middelpunt van de belangstelling, toen het Amerikaanse departement van

defensie bekendmaakte, dat een satelliet van onbekende oorsprong om de aarde cirkelde in een bijna polaire baan. Het objekt zou op 1 februari zijn ontdekt door het surveillance-systeem van de marine, dat met radarbakens werkte. Na onderzoek van vroegere waarnemingen ontdekte men, dat de onbekende satelliet reeds vanaf 19 december 1959 was waargenomen, maar dat zijn baanelementen met geen enkele geregistreerde satelliet klopten. Na een uitgebreide studie kon men echter vaststellen, dat het nieuwe objekt niets anders was dan . . . de kapsule van Discoverer 5, want men slaagde er in sporen van radarecho's terug te vinden tot 15 augustus 1959. Op die datum was de kapsule van de raket losgemaakt, zonder dat het was gelukt haar naar de aarde terug te brengen. De intensiteit van de radarreflekties kwam overeen met de afmetingen van de kapsule. Uit de nu nauwkeurig bekende baan van de kapsule slaagde men erin

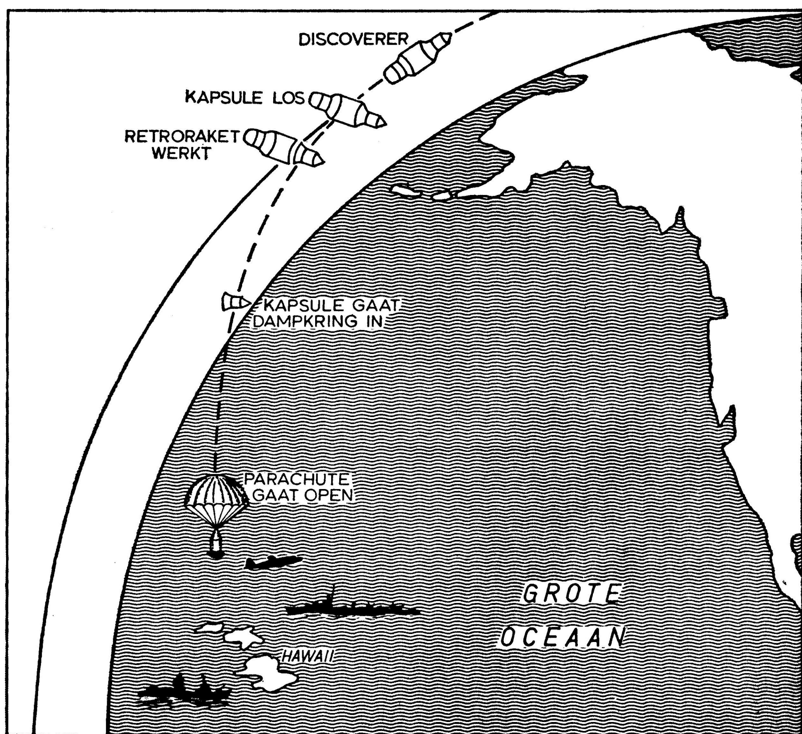


Fig. 25 De terugkeer van een Discoverer-kapsule geschiedde in verschillende etappen. De meeste werden opgevangen boven de Grote Oceaan.

de gebeurtenissen te rekonstrueren, die bij het afschieten van de kapsule hadden plaatsgevonden. Tijdens het losmaken op 14 augustus om 21^h42^m boven de Grote Oceaan was de Discoverer niet voldoende precies georiënteerd. De kapsule moest achterwaarts worden weggeschoten onder een hoek van 60° naar beneden. In plaats daarvan week de richting van de Agena-raket 32° oostwaarts af van haar juiste stand; zij wees iets omhoog. Bij het ontbranden van de explosie, die de kapsule losschoot, werd deze in plaats van naar beneden zijwaarts omhoog geschoten. De retroraketten vergrootten de snelheid nog meer en zo verscheen er een extra kunstmaan aan de hemel tot verrassing van de latere waarnemers.

Pas na een lange reeks mislukkingen had men eindelijk sukses. Bij de Discoverer 13, gelanceerd op 10 augustus 1960, lukte het de 158 kg zware kapsule te bergen. Bij de zeventiende omwenteling vond het losschieten plaats in de buurt van de Beringzee (fig. 25), terwijl de satelliet zuidwaarts koerste. Opvallend was, dat de radiosignalen van de kapsule bij de daling uitvielen tussen 120 en 40 km hoogte. Dit is het gevolg van het optreden van een geïoniseerde wolk rondom de als een vuurbol naar beneden schietende kapsule. Uit de waarnemingen van vallende sterren was dit verschijnsel ons reeds lang bekend. Later zouden de menselijke ruimtevaarders er ook mee worden gekonfronteerd; dit zou voor hen weer een extra moeilijkheid opleveren.

Zodra de kapsule in de dichte lagen van de dampkring was gearriveerd, werden het hitteschild en de retroraketten explosief verwijderd en de nu veel lichter geworden kapsule daalde aan een parachute. Tegelijkertijd werd een grote hoeveelheid aluminiumlint uitgeworpen om de opsporing met radar te vergemakkelijken. Wolken belemmerden het opsporen in het gebied van de landing, 500 km ten noordwesten van Hawaiï, maar de radio van de kapsule werkte. Precies om 0^h05^m in de morgen werd zij ontdekt door een C 119-bommenwerper, die de bergingsschepen erheen dirigeerde. Met een helikopter werd een kikvorsman naar de kapsule vervoerd, die een kabel aan de parachute wist vast te maken en zo werd zij binnengehaald. Men bracht haar eerst naar Hawaiï en later naar Californië. De eerste Amerikaanse kapsule van een Discoverer was van 200 km hoogte veilig naar de aarde teruggebracht.

De Discoverer 14 had twee primeurs, want deze ontdekker droeg een lichtbaken, dat voor de eerste keer in zo'n geval door vier verschillende grondstations werd opgemerkt en gefotografeerd. Bovendien slaagde men er deze keer in de kapsule op een fantastische manier terug te krijgen. Nadat deze tijdens de zeventiende omwenteling was losgeschoten, hoorde een C 119 de radiosignalen en kreeg haar ook op zijn radarscherm te zien. Een tien minuten later zag de bemanning de parachute zelfs dalen; men bracht het vliegtuig er onder en ving de kapsule op 3000 m hoogte op met een trapezevormig vangapparaat.

Ondanks dit sukses bleef het nog af en toe tobben met de volgende Discoverers. Zo kwam de volgende door een verkeerde oriëntatie wel naar beneden, maar de kapsule vloog hoog over de wachtende schepen en vliegtuigen heen en kwam op 13 september in zee terecht, 1600 km verder dan men verwachtte. Er was nog drie en een half uur daglicht en in die korte tijd lukte het toch nog de kapsule te vinden, maar in de duisternis kon zij niet worden opgepikt. De volgende morgen was de zee te ruw om haar te bergen en na enkele uren moest zij als verloren worden beschouwd.

De proeven gingen verder; op 12 november 1960 startte de Discoverer 17 met een verbeterde raket, de Agena B, bijna 2 m langer en 3100 kg zwaarder dan de Agena A. Bijna tweemaal langer werkte de motor en bovendien kon ze nu zonodig worden gestopt en opnieuw gestart. Toevallig trad vlak na het lanceren een intense zonnevlam op, zodat de in de kapsule opgeslagen biologische preparaten aan felle straling werden blootgesteld. Ook deze kapsule werd later in de lucht opgevangen en de 'Air Force School of Aviation Medicine' in Texas vond bij het onderzoek van de preparaten, dat monsters die slechts beschermd waren door de aluminiumhuid van de kapsule minder stralingsschade opgelopen hadden, dan die waren geborgen in lood of goud. Blijkbaar veroorzaken de zonneprotonen die zware metalen treffen daarin secundaire röntgenstraling. Dit resultaat was hoopvol, want het wees er op, dat men in de bemande kapsule geen extra zware bepantsering met lood nodig zou hebben, hetgeen haar gewicht ongewenst groot zou hebben gemaakt. Behalve de biologische monsters was er ook een stralingsmeter en een pak fotografische emulsies aan boord geweest om atoom-

kernen te registreren. Fireman en zijn medewerkers van het 'Smithsonian Astrophysical Laboratory' vonden daarin duizendmaal zoveel tritium (H_3) als bij de vroegere experimenten.

Nieuwe proeven volgden met verbeterde aandrijfraketten. Eind 1961 waren er meer dan 35 experimenten in het kader van dit projekt op stapel gezet. Na die tijd verdween de naam Discoverer uit onze dagbladen. Niet omdat het projekt was verdwenen, maar de wetenschappelijke kant ervan was langzamerhand overgenomen door de NASA en de luchtmacht begon zich meer op militaire doeleinden te richten. Daar was bij de reeds afgeschoten Discoverers ook al aan gewerkt.

Een van de belangrijkste doeleinden van de Amerikaanse defensie was te trachten de lancering van Russische raketten tijdig op te merken. Daar verkenning met vliegtuigen geen zin meer had, trachtte men satellieten te bouwen die de bij een raketlancering optredende uitlaatvlam zouden opmerken. Die verkenningssatellieten werden beproefd in het kader van het *projekt-Midas*. Op 26 februari werd Midas 1 gelanceerd, maar deze mislukte en op 24 mei 1960 volgde Midas 2. Midas betekent 'Missile Defense Alarm System' en was een projekt van de luchtmacht. De raket voerde apparatuur mee, die gevoelig was voor infrarood en de warmte van de uitlaatvlammen van opstijgende raketten moest ontdekken. Magnesiumvlammen, aangestoken te Edwards en Vandenberg, werden gebruikt als proefobjekten. De Midas woog 2270 kg en werd met een Atlas-D-raket gelanceerd. Nadat deze was uitgewerkt werd een Agena aangestoken. De Midas kwam niet in een polaire baan (i was slechts 33°) en liep op ongeveer 500 km hoogte. Het kommandosysteem weigerde echter en de radio viel na twee dagen uit. Midas 3 volgde op 12 juli 1961 en werd in zware mist gelanceerd. Dit gebeurde niet van Cape Canaveral, zoals Midas 2, maar van Point Arguello. De Agena-raket werd bij deze lancering tweemaal in werking gesteld en bracht de Midas in een cirkelvormige baan op 3360 km hoogte. Zij overziet daar een zesde deel van de aardbol en loopt in 161,5 min. om de aarde.

De vierde Midas, gelanceerd op 21 oktober 1961, is bekend geworden door het *projekt-Westford*. Deze kunstmaan, die tussen 3500 en 3750 km hoogte in 166 min. om de aarde liep, bevatte een schijfvormige doos. Daarin zaten een groot aantal kleine

doosjes, waarin koperdraadjes van bijna 2 cm lang en 0,003 cm dik. Deze zaten in naftaleen gesmolten. Het was de bedoeling, dat dit geleidelijk zou verdampen, waardoor de draadjes vrij moesten komen. Door de rotatie van de kunstmaan zouden ze worden weggeslingerd. Iedere naald woog 0,1 mg en er waren 35 kg. Binnen drie weken moesten ze zich verspreiden in een 8 km brede gordel om de aarde, 40 km diep. Twee radiozenders moesten de reflekties tegen de naaldjes onderzoeken. Van de kant van de Internationale Astronomische Unie was tegen deze ruimteverontreiniging geprotesteerd. Er zijn echter geen duidelijke aanwijzingen gevonden, dat de naaldjes zich inderdaad verspreid hebben. Wel rapporteerde Midas 4 een opstijging van een Titanraket, op 24 oktober van Cape Canaveral gelanceerd. Zij beantwoordde dus wel aan haar doel, maar desondanks schijnt de 420 miljoen dollar, die het Midas-projekt kostte, niet veel baten te hebben opgeleverd.

Ook sommige Discoverers voerden infrarood-detectors. Na 1 januari 1962 werden de lanceringen van Vandenberg steeds meer in het militaire vlak getrokken en grotendeels geheim gehouden. Als Thor-Agena B- of Atlas-Agena B-lanceringen werden ze aangekondigd. Er werden slechts summiere gegevens over verstrekt. Ze omvatten onder meer het *projekt-Samos* ('Satellite and Missile Observations System'), bedoeld om de aarde te verkennen voor militaire doeleinden na het beëindigen van de U 2-vluchten. Het *projekt-Vela* diende om eventuele kernexplosies te ontdekken. Zo werden op 10 oktober 1963 Vela 1 en 2 gelanceerd gelijk met de TRS 2 ('Tetrahedron Research Satellite') in een zeer excentrische baan, die tot op 100000 km hoogte reikte. Vela 3 en 4, ieder 234 kg zwaar, volgden op 4 juli 1965. Lanceringen van meer kunstmanen met slechts één raket kwamen zowel aan Amerikaanse als aan Russische zijde voor. Zo brachten de Amerikanen op 9 maart 1965 acht satellieten tegelijk omhoog vanaf Vandenberg voor allerlei doeleinden. In juni 1966 en januari 1967 vonden soortgelijke experimenten plaats. Terwijl het projekt-Samos op 11 oktober 1960 was begonnen met de Samos 1 werden nog steeds Discoverers gelanceerd. Bij die proeven werden niet alleen kabines gelanceerd, maar soms ook satellieten voor andere wetenschappelijke doeleinden. Zo werd bij Discoverer 36 op 12 december 1961 de satelliet *Oscar* 1 mee om-

hoog gebracht. Oscar is de afkorting van 'Orbital Satellite Carrying Amateur Radio'. De Oscar is een 100 mW zendertje, dat door radioamateurs kan worden opgevangen op 145 MH. Op 1 juni 1962 volgde Oscar 2. Oscar 3 werd op 9 maart 1965 gelanceerd tegelijk met 7 andere satellieten met een raket, alle in banen tussen 910 en 940 km hoogte, die zij in ongeveer 104 min. doorlopen. Daaronder waren kunstmanen voor het meten van de zwaartekracht (GGSE 2 en 3), van de zonnestraling (SR 6) en voor geofysisch onderzoek (EGRS 3 en Dodekahedron).

Ook treft de luchtmacht voorbereidingen voor het vervaardigen van een ruimtestation. Daarvoor werd de Titan-raket verder ontwikkeld. De Titan 3 C lanceerde bijvoorbeeld op 3 november 1966 (vanaf Cape Kennedy) twee kommunikatiesatellieten, een Gemini-kapsule, een leeg, 11 m lang, laboratorium en nog een satelliet. Het eerste bemande ruimtelaboratorium wordt tegen 1969 verwacht en zal een 15 m lange cilinder zijn, waarin de bemanning vijfendertig dagen moet doorbrengen.

De NASA is intussen met voorbereidingen voor een ruimtestation verder gevorderd. Op Marshall Space Flight Center is een S-4B opgesteld, een deel van een reusachtige Saturnusraket. Als dit gedeelte voor het projekt-Apollo niet nodig blijkt te zijn, zal zij als ruimtestation in een baan om de aarde worden gebracht. De S-4B wordt bewoonbaar gemaakt en de astronauten moeten er een maand in doorbrengen en allerlei experimenten uitvoeren. Zij komen in het ruimteschip door er een Apollokabine mee te koppelen. Dan komt de kombinatie in een 315 km hoge baan. Voorlopig is dit projekt nog slechts in voorbereiding. Het wordt het projekt-MOL genoemd naar 'Manned Orbiting Laboratory'.

Daarnaast onderzoekt men steeds uitgebreider het gedrag van levende wezens onder de extreme omstandigheden in de ruimte. Hiervoor wil men speciale *biosatellieten* lanceren. De eerste in deze serie werd een mislukking. Na haar lancering op 14 december 1966 kwam zij in een bijna cirkelvormige baan tussen 296 en 311 km ($i = 33°$). Toen op 17 december het sein werd gegeven voor terugkeer naar de aarde weigerde de retroraket.

negende hoofdstuk

kunstmanen voor navigatie en kommunikatie

De weg vinden met de sterren – Hoe bepaalt men zijn positie op aarde? – Verandert de afstand der kontinenten? – Kunstmanen als bakens – Vanguard 1 was de eerste geodetische satelliet – Het projekt-Transit – Plaatsbepaling met radioseinen – Het beginsel van Doppler – Hoe men de rotatie van een kunstmaan verandert – Kristallen kontroleren een zender – De Greb werkte niet geheel volgens plan – De eerste kernreaktor in de ruimte – Ook het aardmagneetveld kan rotatie stoppen – De evenaar is geen cirkel – Het projekt-Anna – Flitslichten van acht miljoen kaars – Courier 1 B de eerste kunstmaan voor radiotransmissie – Een reus in een fles – Metingen van de atmosfeer tot op grote hoogte – De tweede Echo – De Pageos, een nieuwe meetsatelliet in de ruimte – Geos 1 – De grootte van de aarde – Telstar verbindt de kontinenten – Het projekt-Relay – Syncom 1 zweeg plotseling – Banen in de vorm van een acht – Molniya 1 – Intelsat en Comsat – Early Bird en Lani Bird.

Een van de oudste toepassingen van de sterrenkunde ligt op het gebied van de navigatie. De zeevaarders in oude tijden, voor de uitvinding van het kompas, stuurden hun kleine scheepjes over de zeeën met behulp van zon en sterren. Zij wisten het zuiden te vinden met behulp van de hoogste stand van de zon en het noorden met behulp van de poolster. De uitvinding van het kompas verruimde de mogelijkheden om zich te oriënteren aanzienlijk.

Al kon men nu de richtingen ook bij bewolkte lucht vinden, toch bleef een belangrijk vraagstuk nog onopgelost. Zolang men de vorm en de grootte van de aarde niet kende, was het onmogelijk te bepalen, waar men zich precies op de wereld bevond. Dat vraagstuk werd klemmender, toen men zich aan het einde van de middeleeuwen begon te realiseren, dat de aarde een bol was. De zeevaarders op de eindeloze oceanen kregen daar bij hun ontdekkingsreizen voortdurend meer mee te maken. Met behulp van de sterren of de zon was het niet moeilijk de geografische breedte te bepalen. In onze streken kan men daarvoor heel gemakkelijk gebruik maken van de poolster. Bepaalt men de hoogte h van die

ster boven de horizon (of haar afstand tot het zenit $z = 90° - h$), dan kent men tevens de geografische breedte. Daarvoor gebruiken we de bekende astronomische betrekking, dat de poolshoogte gelijk is aan de geografische breedte.

Moeilijker bleek het echter om de juiste lengte te bepalen. Daarvoor dient men ook precies de tijd te weten, die de klok op het ogenblik van de waarneming in Greenwich op de 0-meridiaan aanwijst. Het is begrijpelijk, dat dit in vroeger tijden de meeste moeilijkheden opleverde. Het meenemen van chronometers die niet voor of achter liepen was noodzakelijk en leverde allerlei praktische moeilijkheden op.

Met de komst van de radio was deze moeilijkheid echter spoedig opgelost. Via door bepaalde zenders regelmatig uitgezonden tijdseinen is het mogelijk de gang van de klok voortdurend bij te houden en zo is het momenteel niet moeilijk meer de geografische breedte en lengte van bepaalde punten op aarde nauwkeurig te bepalen.

Voor de navigatie is er echter nog een tweede moeilijkheid. Is eenmaal de positie van een schip (of vliegtuig) vastgelegd, dan kan men die intekenen op daarvoor geschikte kaarten. In die kaarten zijn landen, eilanden, bergketens, rotsen en klippen zo exakt mogelijk aangegeven. Voordat dit kon gebeuren moest men ook de juiste plaats, grootte en vorm daarvan vaststellen. Dit is in vroeger tijd al op uitgebreide schaal geschied, maar lang niet altijd voldoende nauwkeurig. Bovendien is de meting in bepaalde gevallen bemoeilijkt door plaatselijke onregelmatigheden in het zwaartekrachtsveld of door geomagnetische storingen, die men niet verwachtte. Daardoor zijn onze huidige kaarten vaak nog foutief.

Daarnaast berust iedere kartografie op schaal op onze kennis van de juiste afstand in meters tussen de landen, eilanden en kontinenten. Het is niet moeilijk langs astronomische weg de juiste grootte van de aardbol te bepalen en dat is dan ook al lang voor onze jaartelling gebeurd. Wil men echter de afwijkingen van de bolvorm vinden, dan wordt het moeilijker. Door de diverse nationale graadmetingen, verricht door de geodetische diensten van allerlei landen, aaneen te sluiten is onze kennis van de vorm der aarde en haar ware grootte aanmerkelijk gegroeid. Op grotere schaal voor de verschillende kontinenten werd dat moeilijker.

Jaren geleden al werd de wetenschap verrast door de beroemde theorie van Wegener. Zou het denkbaar zijn, dat eens het reusachtige Amerikaanse kontinent tegen Europa en Afrika aangelegen had? Hun vormen komen in ieder geval tamelijk overeen. Drijven die kontinenten inderdaad in een tergend langzaam tempo uit elkaar? Om deze theorie te kunnen verifiëren zou het gewenst zijn de afstand van bepaalde vaste punten op beide kontinenten gedurende vele jaren achtereen zeer nauwkeurig te meten. Dit is echter een moeilijke zaak, want door de enorme afstand is er geen geschikt buitenaards punt te vinden, dat vanuit beide werelddelen waarneembaar is en toch niet te ver weg staat.

Vroeger heeft men wel eens getracht metingen te verrichten met behulp van de maan. Onze satelliet is echter een tamelijk ongeschikt oriëntatiepunt. In de eerste plaats is zij door een kijker gezien een enorm grote schijf. Het is dan ook buitengewoon moeilijk op een bepaald vast punt van die schijf te richten. Bovendien is het moeilijk de positie van zo'n punt dan ook nog exact vast te leggen ten opzichte van zenit of horizon. Andere sterren om als oriëntatiepunten te gebruiken zijn in de buurt van de zo heldere maanschijf ook niet overvloedig gezaaid. Bovendien staat de maan al rijkelijk ver weg; met puntvormige sterachtige lichtjes op een niet zo grote afstand zou het heel wat beter gaan. Een ideale oplossing hiervoor werd dan ook door de kunstmanen geboden.

Zelfs de eerste Amerikaanse Vanguard is al gebruikt om de geografische positie van eilanden in de Stille Oceaan nauwkeurig te bepalen. Op die eilanden bevonden zich volgstations, die de radioseinen van de satelliet waarnamen. Deze werden vergeleken met seinen van andere plaatsen, waarvan de koördinaten precies bekend waren. Kaartfouten tot ongeveer 1,5 km werden gevonden. Zo werd eerst Guam gemeten, later Wake, Samoa en vele andere eilanden. Nieuwe technieken reduceerden de kaartfouten tot ongeveer 70 m. Dit was reeds een aanzienlijke verbetering voor de navigatie in de Westelijke Grote Oceaan.

Een speciale kunstmaan ten behoeve van de zee- en luchtnavigatie was de Transit 1 B. Met deze lancering begon het eerste suksesvolle deel van het *projekt-Transit.* Op 13 april 1960 werd de 90 cm grote bolvormige satelliet op Cape Canaveral om-

hooggeschoten. De eerste trap van de raket was een Thor IRBM, de tweede een Able Star. Van deze laatste kon de motor worden gestopt en na een paar minuten opnieuw in werking worden gesteld. Men wilde daarvan gebruik maken om de Transit in een cirkelbaan te brengen door de motor eerst te gebruiken om een ellipsbaan te verkrijgen en hem daarna opnieuw te starten in het hoogste punt van die ellips! Dit gebeurde inderdaad. Na 4 minuten werken stopte de motor; de satelliet bewoog 19 minuten alleen onder invloed van zijn verkregen snelheid en het gravitatieveld van de aarde. Intussen werd hij in de juiste stand gehouden door acht op stikstofgas werkende hulpraketjes. Toen werd de motor nog dertien sekonden lang opnieuw in werking gesteld en nadat de satelliet aan het draaien was gebracht, scheidde een explosie de Transit van de rakettrap.

Deze kunstmaan zond radiosignalen uit op een zeer bijzondere manier. De zender werkt met behulp van twee zeer stabiele oscillatoren, die er voor zorgen, dat de golflengte, waarop de radioseinen worden uitgezonden, en dus ook de frekwentie $f_0 = c : \lambda_0$ (waarin c de lichtsnelheid en λ_0 de golflengte is) volkomen konstant blijven. Zij worden van energie voorzien door een dubbele band van fotocellen aan weerskanten van de bolvormige kunstmaan. Ieder van de twee oscillatoren zendt om de minuut en vijf volgstations in Amerika, Canada en Engeland rapporteren de ontvangst.

Een schip dat de seinen waarneemt, kan de afstand tot de kunstmaan zeer nauwkeurig bepalen. Daartoe neemt het de frekwentie f waar, waarbij het de uitgezonden signalen ontvangt. Volgens het beginsel van Doppler is de waargenomen frekwentie afhankelijk van de snelheid, waarmee de satelliet ten opzichte van de waarnemer beweegt. Is p de afstand tot de satelliet dan is de waargenomen frekwentie:

$$f = f_0 + \frac{f_0}{c}\frac{dp}{dt} \tag{12}$$

De snelheid, waarmee de waargenomen frekwentie verandert, is maximaal bij de kortste afstand p_0 op het tijdstip t_0. Dan geldt:

$$\frac{d^2p}{dt^2} = \frac{v^2}{p_0} \tag{13}$$

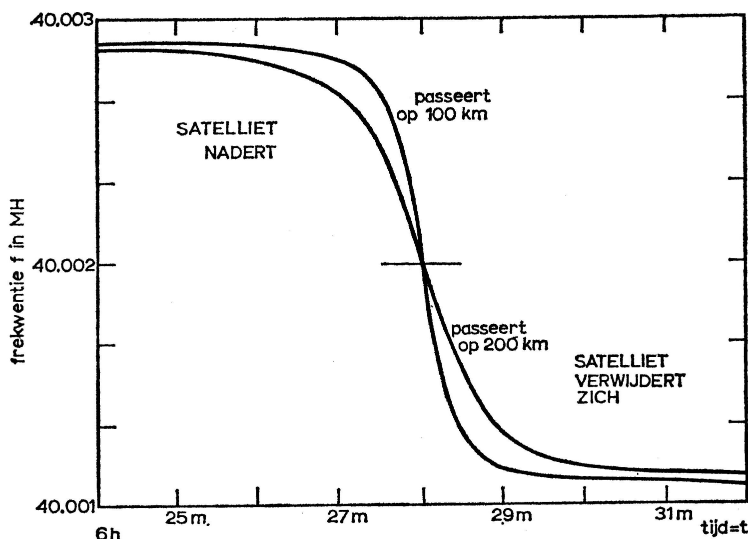


Fig. 26 De frekwentieverandering van het radiosignaal van een satelliet die boven een waarnemingsstation passeert is een gevolg van het dopplereffekt.

waarin v de snelheid is van de kunstmaan. Figuur 26 is een voorbeeld, hoe zo'n waarneming eruit ziet. Uit het steilste punt is v^2/p_0 af te leiden en uit de verdere kromme volgen p_0 en v afzonderlijk. Deze methode wordt ook gebruikt bij het volgen van ruimteschepen, waarvan men de baan niet nauwkeurig kent. De daarvoor met speciale zeer gevoelige ontvangstapparatuur uitgeruste volgstations te Goldstone (Cal.), Johannesburg en Woomera (Australië) stellen ons in staat de juiste afstand tot de aarde van, naar maan of planeten bewegende, ruimteschepen te bepalen, mits men tegelijkertijd de afstand tot twee der stations van de seinen uitzendende kapsule kan meten.

Bij de keuze van de frekwentie, waarop de satelliet uitzendt, moet men rekening houden met de aardse ionosfeer en de door de hemellichamen veroorzaakte radioruis. Bovendien treedt er refraktie op in de aardatmosfeer. Niet alleen licht, maar ook radiogolven worden door de aardatmosfeer afgebogen van hun rechte weg. Daar de baan van de Transit en het punt in de baan waar zij zich bevond, echter nauwkeurig bekend waren, kon men in dit geval uit de waargenomen frekwentieverandering de positie van het waarnemingsstation bepalen. Is het station een

schip, dan moet het niet alleen apparatuur meevoeren om de verandering in de frekwentie nauwkeurig te meten, maar ook een computer om zijn positie daaruit te bepalen; dit kan tot op 200 m precies.

Misschien lijkt het, alsof het een ingewikkelde en kostbare werkwijze is om kunstmanen voor dit doel te gebruiken. Ter vergelijking moet men echter bedenken, dat een grondsysteem met radarzendposten, die de gehele aarde bestrijken vooral op de oceanen aanzienlijk duurder uitkomt dan het lanceren van verscheidene van dergelijke satellieten.

Op 22 juni 1960 werd de Transit 2 A gelanceerd. Deze Transit droeg tweemaal zoveel zonnecellen, zodat geen chemische batterijen voor de stroomvoorziening werden ingebouwd. De rotatie van deze Transit werd evenals bij de vorige na een week sterk vertraagd. Dit gebeurde door middel van twee gewichten, die aan een aanvankelijk opgewonden kabel zaten bevestigd. Na een kommando, vanaf de aarde gegeven, werden de beide kabels die zich in de satelliet bevonden losgemaakt; door de rotatie van de satelliet rolden ze snel af en vierden zo de gewichten. Daardoor vertraagde de rotatie aanzienlijk. (Deze mechanika-eigenschap zou men als volgt kunnen kontroleren. Men gaat op een pianokrukje staan en pakt twee zware gewichten op. Men strekt de armen aanvankelijk tegen het lichaam aan en laat zich snel ronddraaien met de kruk. Nu strekt men de beide armen met de gewichten zo wijd mogelijk uit en men zal merken dat de draaisnelheid sterk vermindert!) Later werd de rotatie nog meer vertraagd door met spoelen omwikkelde metalen kernen waarin elektrische stromen liepen, waardoor de spoel, en met haar de kunstmaan, geremd werd door het magneetveld van de aarde.

Ook bij deze Transit werd de frekwentie van de zender konstant gehouden door kontrolerende kristallen. Die zitten in dubbelwandige Dewarvaten, die aan nylonkoorden hangen binnen in de satelliet. Zo zijn ze zoveel mogelijk geïsoleerd, waardoor de temperatuur van de kristallen konstant blijft. Dit is een dringende eis, opdat ze als stabiele oscillatoren kunnen werken. Om de juiste positie te kunnen bepalen, moet de navigator op het schip, dat de seinen waarneemt, ook de juiste tijd weten tot op 0,01 sek. precies. Het was de bedoeling, dat de volgende navigatiesatel-

lieten hun eigen tijdsignalen, evenals herhaaldelijk bijgewerkte gegevens van hun baan en positie, zouden uitzenden.

Aan de Transit 2A zat een tweede bol vast, de *Greb*. Deze werd, toen de kunstmaan eenmaal in haar baan was, door middel van een explosie er van los gemaakt. Zo kon men haar rotatie onafhankelijk van die van de Transit zelf instellen. De Greb was een 50 cm grote aluminiumbol, die voorzien was van zes groepen van ieder 156 zonnecellen ten behoeve van haar energievoorziening. Vier 60 cm lange antennes waren symmetrisch om haar evenaar geplaatst. Zij moest Lyman-alfa-straling en röntgenstraling van de zon meten. De resultaten waren echter mager, want zij registreerde geen ultraviolette Lymanstraling. Zelfs op 6 augustus 1960 tijdens een intense zonnevlam vond men niets, hoewel toen de röntgenstraling wel voor de eerste keer door een kunstmaan, in dit geval de Greb, werd waargenomen.

Zowel de lancering van de Transit 3 A op 30 november 1960 als die van de Transit 3 B in februari 1961 mislukte. Deze laatste bestond ook uit twee delen, die echter weigerden te scheiden van de laatste trap van de raket. Beter was het resultaat van de Transit 4 A (29 juni 1961), die de vorm had van een zestienzijdige trommel en 79 kg woog. In dit geval werd het vermogen behalve door zonnecellen en batterijen ook geleverd door een thermoelektrisch systeem, dat *Snap* 3 werd genoemd (naar 'System for Nuclear Auxiliary Power'). Dit systeem werd gevoed door plutonium 238. Dit radioaktieve element valt uiteen en levert energie. Bij dit proces komt weinig gammastraling vrij, zodat er geen bescherming nodig is tegen stralingschade. Daardoor is dit systeem misschien geschikt voor ruimteschepen. Tegelijk met deze nieuwe Transit werd de Greb 3 mee omhoog genomen voor het meten van de röntgenstraling van de zon. Bovendien zat tussen beide nog de *Injun* in een 18 kg zware trommel, ontworpen om de Van Allen-gordels verder te onderzoeken en hun relatie met het poollicht na te gaan. De beide laatste bleven echter aan elkaar zitten (wat niet de bedoeling was), hetgeen de asdraaiing van de Greb 3 remde, zodat deze slechts gegevens uitzond met de halve gewenste snelheid. Bovendien bedekte de Greb voortdurend een fotometer van de Injun.

De vijfde van de serie was de Transit 4 B, gelanceerd op 15 november 1961. Zij lijkt precies op de Transit 4 A, afgezien van zeer

kleine technische verbeteringen. Zij werd begeleid door de Traac, een proefsatelliet om de oriëntatie van ruimteschepen na te gaan en te kontroleren. Traac betekent dan ook 'Transit Research and Attitude Control'. Deze maakt gebruik van magnetische dempingswielen. Voor gebruik in het zwakke magnetische veld van de aarde op 800 km hoogte is een geschikte legering van nikkel en ijzer ontworpen. Als nu de satelliet draait in het aardmagnetische veld, ontstaan er in zo'n wiel wervelstromen, die rotatie-energie omzetten in warmte. Daardoor neemt de rotatie van de kunstmaan snel af. Door een spoel om het wiel wordt het proces nog versneld. Het lukte inderdaad de rotatie in een paar weken geheel te stoppen. De satelliet was toen gericht in het aardmagneetveld. De Traac gebruikte een elektromagneet, die kon worden uitgeschakeld toen de rotatie was geremd. Bovendien was ze voorzien van een gewicht aan een 30 cm lange veer, dat kon worden uitgestoken.

Er bleek een beperking te zijn aan de nauwkeurigheid van het navigatiesysteem van de Transit, omdat de vorm van het aardoppervlak en zijn massadistributie niet voldoende precies bekend zijn. Zo waren gegevens van één dag van de Transit 4 A voldoende om te bevestigen, dat de aardequator niet cirkelvormig, maar elliptisch is. De diameter, die wijst naar 110° W.L. en 169° O.L., is 300 m langer dan de daarop loodrecht staande diameter. Een nauwkeurig onderzoek leek hiervoor vereist. Een eerste stap hiervoor was een nieuw *projekt*, *Anna* geheten, naar Army, Navy, NASA en Air Force, die gezamenlijk meehielpen aan deze geodetische satellieten.

De eerste lancering (Anna 1 A op 10 mei 1962) mislukte, omdat de tweede trap van de raket weigerde te ontbranden. Anna 1 B echter op 31 oktober 1962 had meer sukses. Deze satelliet was voorzien van vier flitslichten van xenonflitsers, ieder van acht miljoen kaars. Gedurende 24 uur vonden er twintig flitsperioden plaats en dan gaven ze vijf flitsen met tussenpozen van 5,6 sekonden. Die intervallen tussen de flitsperioden waren nodig om de batterijen van de kunstmaan weer op peil te brengen met behulp van zonnecellen. Het was de bedoeling de flitsen van de 160 kg zware satelliet tegen de sterrenhemel te fotograferen. De Anna was een bol van 90 cm diameter, maar door haar grote hoogte was zij zwakker dan een ster van de zevende grootte. Zo'n

ster is voor het blote oog onzichtbaar. De vier flitsers zaten in groepen van twee op de beide polen van de satelliet. De draaiings-as was gericht door het aardmagnetische veld en men kon naar believen noord- of zuidpoollichten ontsteken. Bovendien zond de Anna ook radioseinen uit waarvan de frekwentie nauwkeurig bekend was.

Een andere toepassing van kunstmanen is het meten van de hoogte van de golven op de oceaan. De oceanografische afdeling van Lockheed ontwikkelde in opdracht van de Amerikaanse marine een systeem voor een satelliet, die met radar is uitgerust en in een polaire baan loopt. De radarapparatuur in de satelliet meet dan de hoogte van de golven op de oceaan en geeft iedere dag van het oceaangebied dat onder haar ligt, hoogte, lengte en tijdsduur van de golven. Deze gegevens worden per radio naar de aarde teruggestuurd en daar verwerkt in computers, die daaruit voor de komende 24 of 48 uur voorspellingen kunnen doen voor de golfslag die te verwachten is op de oceaan.

Wanneer het mogelijk is een satelliet tegelijkertijd op twee ver uit elkaar gelegen plaatsen op aarde waar te nemen en voor positiebepaling te gebruiken, zou men zo'n kunstmaan ook nog op een geheel andere manier kunnen exploiteren. Immers, een vanuit die ene plaats uitgezonden sein zou door de satelliet naar de andere plaats op aarde kunnen worden teruggekaatst. Zo zou men kunstmanen kunnen gebruiken voor radiotransmissie. Reeds op 4 oktober 1960 werd door de Amerikanen een satelliet speciaal voor dit doel gelanceerd. De *Courier* 1 *B*, een 215 kg zware bol, 125 cm in middellijn, beschreef een baan tussen 940 en 1240 km hoogte.

Om een behoorlijk grote reflektor voor radiosignalen te hebben, zou men over een zeer grote kunstmaan moeten kunnen beschikken. Zelf zou zo'n satelliet eigenlijk nauwelijks aktief behoeven te zijn. Ook deze mogelijkheid werd reeds in 1960 onder het oog gezien. Het Goldstone-volgstation in Californië zou radiosignalen naar de satelliet kunnen zenden, die dan na reflektie opgevangen moesten worden door het Bell Telephone Laboratory in New Jersey of omgekeerd. De enige mogelijkheid om een satelliet van voldoende grootte te krijgen was een ballon. Zo werd het *projekt-Echo* ontworpen. Met een reusachtige dertig meter grote ballon, waarvan de buitenkant was veraluminiseerd,

zou men duizenden kilometers kunnen overbruggen. De ballon heeft de halve dikte van het cellofaanomhulsel van een pakje sigaretten en is in vacuüm veraluminiseerd met een uiterst dun laagje (0,000017 cm dik), dat nog geen 2 kg weegt. De ballon zelf woog 60 kg en zit als een reus in een metalen fles, opgevouwen in een bolvormig hulsel van 70 cm diameter. Door een kleine explosie worden beide helften van het omhulsel gescheiden. Het restje lucht in de ballon is voldoende om hem te doen zwellen; enkele kilo's benzeenzuur en anthraquinon, die door verwarming van het zonlicht gaan sublimeren, kompleteren het opblazen.

Op 12 augustus 1960 werd de eerste Echo omhooggebracht met een Delta-raket in drie trappen. Nadat de kapsule van de derde trap was afgescheiden, werd een kleine raket afgevuurd om de loop van de derde trap te wijzigen en zo een botsing met de ballon te voorkomen.

De lancering was een groot sukses. De reusachtige ballon ontplooide zich en zondag 14 augustus telefoneerde ingenieur Tardoni in Californië voor het eerst met zijn collega Jakes in New Jersey via de Echo. Ook in Nederland was de kunstmaan duidelijk als een heldere ster te zien ondanks haar grote hoogte (1600 km). Voltreffers van meteoroïden konden de ballon geleidelijk perforeren. De anthraquinon werd toegevoegd om extra gas te produceren ter kompensering van de lekken. De eerste tijd zond de ballon ook radioseinen uit met twee kleine zendertjes aan weerskanten gemonteerd, die hun elektriciteit verkregen uit een aantal zonnecellen. Ze waren met elkaar verbonden door een gedrukt circuit op de ballon. Gedurende vier en een halve maand was de Echo als reflektor voor radiosignalen bruikbaar, daarna was ze veel te lek en beschadigd.

De Echo bood mede door haar lange levensduur en haar grootte een ideale mogelijkheid om de atmosferische dichtheid tot op zeer grote hoogte te bepalen. Langzaam wijzigde de ijle lucht haar cirkelbaan in een ellips tussen 960 en 2560 km, die later echter weer een cirkel werd. Langzaam wijzigde zich ook het beeld van de atmosfeer, dat wij ons hadden gevormd. Het blijkt dat zij sterk dynamisch is en dat er herhaaldelijk veranderingen in optreden. Die hangen samen met allerlei verschijnselen: de zonnevlekkencyclus, dagelijkse effekten, de zonneaktiviteit, de magnetische aktiviteit en het seizoen.

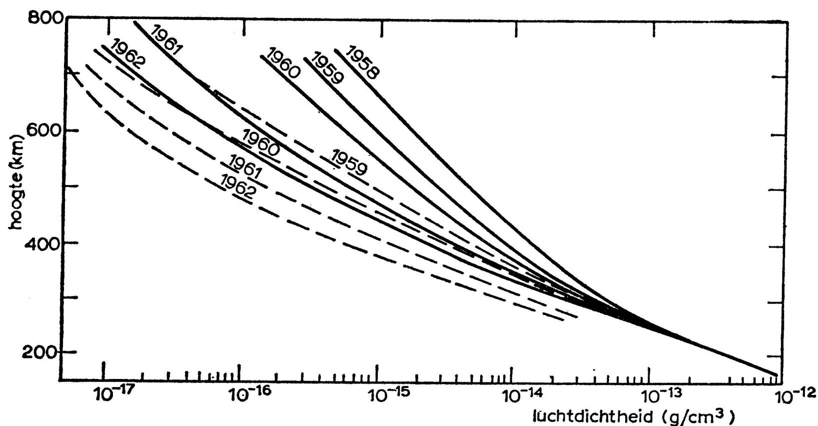


Fig. 27 Variaties van de dichtheid in de atmosfeer gedurende 1958-1962, uit de banen van 38 kunstmanen afgeleid. Let op de invloed van de zonnecyclus. De volle lijnen zijn jaarlijkse gemiddelde maximumwaarden overdag en de stippellijnen jaarlijkse gemiddelde minimumwaarden gedurende de nacht.

De elfjarige periode en de dagelijkse gang veroorzaken de grootste variaties (fig. 27); de eerste is waarschijnlijk een gevolg van veranderingen in de hoeveelheden ultraviolette straling, die de zon uitzendt. De temperatuur van de exosfeer verandert sterk. In grootte volgt daarop de variatie ten gevolge van de wisseling van dag en nacht. Jacchia en Slowey vonden uit de vertraging van de Injun, dat de dagtemperatuur van de exosfeer 1,33 keer zo hoog is als de nachtelijke waarde. Het maximum valt op ongeveer 14^h plaatselijke tijd. Het minimum, dat veel geleidelijker verloopt, is om 5^h.

De tweede Echo werd op 25 januari 1964 gelanceerd met een Thor-raket van de basis Vandenberg. Zo kon men haar in een polaire baan brengen. Van Cape Kennedy is dat wel mogelijk, maar niet gewenst. Men moet dan de eerste trap immers in een richting lanceren waarin grote bewoonde centra liggen, en dat is veel te riskant. De Echo 2 kwam in een baan op 1030 tot 1310 km hoogte, die zij in 109 minuten doorliep ($i = 81{,}5°$). Nadat de tweede trap van de raket, een Agena, 180 graden was gedraaid, werd de aluminium doos van 1 m bij 75 cm uitgeworpen, waarin de meer dan 40 m grote ballon zat opgevouwen. Van binnen was ze pikzwart gemaakt om er gelijke temperaturen in te krijgen. In

de tweede trap van de raket zat een televisiekamera, die het opblazen waarnam. Ook deze Echo was als een zeer heldere ster te zien, en gedurende zeer lange tijd. Bevindt haar baan zich namelijk in de schemeringszone van de aarde, dan blijft die daar een zeer lange tijd. Weliswaar schuift ze iedere dag een graad oostwaarts door de beweging van de aarde om de zon, maar tegelijkertijd schuift ze dagelijks 0,8 graad westwaarts terug door de precessie, een storing veroorzaakt door de afplatting van de aarde.

Heldere satellieten zoals de Echo zijn natuurlijk ook uitmuntend voor positiebepaling geschikt. Daarom wordt het projekt-Echo voortgezet als het *projekt-Pageos*, dat betekent 'passieve geodetische satelliet'. De eerste Pageos werd op 24 juni 1966 gelanceerd. In tegenstelling met de beide Echo's dragen deze satellieten geen radiozendertjes. Evenals de Echo's zijn het ballonnen van uiterst dun materiaal (een soort plastic) met daarop een laagje aluminium, dat 85 procent van het opvallende licht en 97 procent van de opvallende radiogolven reflekteert. De Pageos weegt slechts 57 kg en doorloopt ook weer een polaire baan op 4200 km hoogte. Met behulp van deze satellieten wil men in de toekomst een kaart van de aarde samenstellen met een nauwkeurigheid van 1 op 500000. Op een afstand van 5000 km zal de fout niet meer bedragen dan 10 m. Behalve een langdurige zichtbaarheid biedt een polaire baan ook het voordeel, dat de kunstmaan, behalve vlak bij de polen, in het zenit kan worden waargenomen. Daardoor kan men op iedere plaats op aarde zeer exacte waarnemingen verrichten. De Pageos is van de tweede grootte, dus even helder als de poolster. Door zijn grote afstand is Pageos vrij lang te zien, maar pas na 3 uur komt de dertig meter grote ballon weer terug.

Ook satellieten met flitslichten zijn nog steeds in de mode. De op 6 november 1965 gelanceerde Explorer 29, ook wel *Geos* 1 genoemd, zou men een opvolger van de Anna kunnen noemen. Deze kunstmaan bevat behalve vier sterke flitslichten ook 322 kleine prisma's om laserstralen te kunnen reflekteren. Vanuit de aarde wordt zo'n laserstraal (een zeer dunne bundel buitengewoon sterk licht) naar de satelliet gericht. Uit de tijd, die de straling nodig heeft om heen en terug te gaan, kan men de afstand dan precies bepalen.

Nauwkeurige bepaling van de positie van de satellieten met behulp van opnamen op vele stations met de speciaal daarvoor ontworpen Baker-Nunn-kamera's, leidde tot een zeer precieze bepaling van hun posities. Vooral de astronomen, van Smithsonian Astrophysical Observatory, die de baanelementen van de kunstmanen en hun posities in de baan voortdurend met de meest moderne rekenmachines uitwerken, vinden als nevenresultaat nauwkeurige positiebepalingen. Veis uit Athene, die hier enige tijd werkte, bepaalde uit 13 kunstmanen, waarvan met de Baker-Nunn-camera's 46500 waarnemingen waren verzameld, de straal van de aarde. Door het gemiddelde te nemen van de juiste afstand van de twaalf waarnemingsposten tot het aardse massacentrum, vond hij 6378,169 km met een fout van gemiddeld 8 meter!

Iszak, een medewerker van het Smithsonian Astrophysical Observatory bevestigde, dat de evenaar geen cirkel, maar een ellips is. Hij vond ook, dat de straal op twee punten langer is; het ene bij de oostkust van Brazilië, het andere bij Nieuw-Guinea. De vergroting bedraagt volgens hem ongeveer 200 m. Iszak vervaardigde een nauwkeurige kaart van de geoïde, dat is de vorm, die de aarde zou vertonen, als zij geheel met oceanen bedekt zou zijn, die ook onder de kontinenten doorliepen. Hij verwerkte daarvoor 26500 nauwkeurige satellietwaarnemingen.

Ook radiokommunikatie tussen vele ver verwijderde punten is steeds gemakkelijker geworden. 10 juli 1962 werd de *Telstar* 1 gelanceerd van, toen nog, Cape Canaveral. In 158 minuten liep zij om de aarde tussen 955 en 5640 km hoogte. Zij ontving radioseinen op 6390 MH, die in de satelliet tien miljard maal werden versterkt en dan weer teruggezonden werden naar de aarde. Zo'n satelliet bleek ook bruikbaar voor zeer vele gelijktijdige telefoongesprekken. De 85 cm grote bol met 77 kg gewicht bestond uit 72 vlakken grotendeels bedekt met zonnecellen. Door haar snelle loop om de aarde is zij echter op bepaalde trajekten slechts korte tijd bruikbaar. Hetzelfde geldt voor de satellieten van het *projekt-Relay*. In 1962 op 13 december verscheen de Relay 1, die tussen 1320 en 7440 km hoogte in 185 minuten rondging. Deze grotere hoogte maakt de kunstmaan wat langer bruikbaar. Het maantje is achthoekig van vorm. Aan de ene kant is de achthoekige prisma vernauwd. Aanvankelijk deed de satelliet het

niet goed, tengevolge van abnormale lekkage van de batterijen. Dit hield in het begin van 1963 gedeeltelijk op en toen kon de Relay gebruikt worden voor televisie-uitzendingen tussen Europa en Amerika. Ook tussen de Verenigde Staten en Brazilië werd zij voor dat doel gebruikt. Op 22 november 1963 deed zij ook dienst voor een uitzending van Amerika naar Japan. Meer dan achtduizend zonnecellen leverden de 45 watt vermogen voor deze kunstmaan. Zij is lang in gebruik gebleven, want toen op 21 januari 1964 de Relay 2 omhoog werd geschoten, funktioneerde haar voorganger nog. Ook deze tweede Relay, die overigens veel op de eerste leek, was voor de wereldtelevisie bedoeld. Meer dan een uur lang kon zij in een gunstige stand gebruikt worden om programma's over te seinen, vooral in de lente, wanneer men haar vanuit Amerika en Europa op 7400 km door haar apogeum kon zien gaan. In de midzomer is de bruikbare tijd slechts tien minuten. De zonnecellen zijn verbeterd, – ze zijn beter beschut tegen schadelijke stralingen – zodat ze langer meegaan. Speciale zend- en ontvangststations (pl. VI) in New Jersey en in Andover in Maine verbinden Amerika met de Europese stations in het Franse Bretagne en het Engelse Cornwall. Ook in Italië en in Duitsland waren dergelijke stations in 1964 in aanbouw of vrijwel gereed.

Intussen zijn er ook andere kommunikatie-experimenten aan de gang. Zo bracht een Delta-raket op 14 februari 1963 de Syncom 1 in een ellipsbaan tussen 240 en 35000 km. Toen de satelliet haar apogeum bereikte, werd een kleine raket midden tussen de instrumenten afgevuurd om de baan in een cirkel te veranderen. Een speciaal daarvoor gebouwd kommunikatieschip de Kingsport, lag in de haven van Lagos (Nigeria). Het schip ontving seinen, waaruit men op Goddard Space Flight Center de afstand van de kunstmaan en haar juiste baan berekende. De Kingsport zond geluid en muziek naar de Syncom, die deze met goed resultaat terugstraalde. Aanvankelijk was de antenne niet goed gericht, maar naarmate de kunstmaan haar apogeum naderde, werd dat beter. Intussen was de baan exakt berekend en op het juiste moment zond de Kingsport een sein, waardoor de raket startte voor de baankorrektie. Nog 20,1 sekonden ontving de Kingsport signalen en toen stopten ze plotseling. De raket moest 21,2 sekonden werken en een analyse van de signalen wijst er op, dat zij waarschijnlijk wel heeft gewerkt. Sterke fotografische

kijkers van Boyden Observatory in Zuid-Afrika (Bloemfontein) ontdekten later de Syncom als een zwak stipje op hemelfoto's tussen de stersporen. Dat was op 24 februari. Op 2 maart waren er drie waarnemingen. Zwijgend draait de zwakke kunstmaan nu op grote afstand om de aarde. Misschien zullen ruimtevaarders in de verre toekomst haar eens kunnen repareren en tot nieuw leven wekken.

Om herhaling van dit falen bij de tweede Syncom op 26 juli 1963 te voorkomen, voorzag men die van een extra zilver-zink-batterij, die gedurende 30 à 40 minuten stroom kon leveren, als de hoofdstroom zou uitvallen. Een kunstmaan op 36400 km hoogte boven de evenaar geplaatst, zal in 24 uur om de aarde draaien. Aangezien de aarde echter in diezelfde tijd een keer om haar as draait, blijft zo'n kunstmaan steeds boven hetzelfde punt van de evenaar staan. Met drie dergelijke synchrone satellieten, 120° uit elkaar, zou men de gehele aarde kunnen bestrijken. Zo'n stelsel is denkbaar voor allerlei vormen telekommunikatie, waaronder wereldtelevisie. De naam Syncom betekent dan ook 'synchrone kommunikatiesatelliet'. Het is niet helemaal juist, dat de Syncom roerloos aan de hemel staat. Doordat Cape Kennedy niet op de evenaar ligt maar op 33 ° noorderbreedte, beschrijft de kunstmaan een merkwaardige baan. Deze heeft de vorm van een cijfer acht en zij beweegt zich daarbij tussen 33° noorder- en 33° zuiderbreedte. Aanvankelijk kwam de satelliet boven Madagascar terecht, maar met kleine stuurraketjes werd zij tot boven de Atlantische Oceaan gedirigeerd. De kunstmaan zelf was een ronde trommel van 39 kg, van buiten voorzien van 3840 zonnecellen, die 25 watt elektrisch vermogen opwekten. Voorlopig werd deze Syncom alleen gebruikt voor telefoongesprekken en foto's, maar nog niet voor televisie.

Op 19 augustus volgde Syncom 3 (pl. v), die boven de Grote Oceaan moest verblijven, ongeveer boven de internationale datumlijn. Voor het overbrengen van televisie van Amerika naar Europa en omgekeerd diende de *Early Bird*, die op 6 april 1965 omhoog werd gebracht boven de Atlantische Oceaan. Zij moest boven de evenaar blijven (fig. 28) en geen acht beschrijven, zoals de Syncom.

Ook de Russen hebben hun kommunikatiesatellieten, Molniya geheten. De eerste, op 23 april 1965 gelanceerd, diende om radio

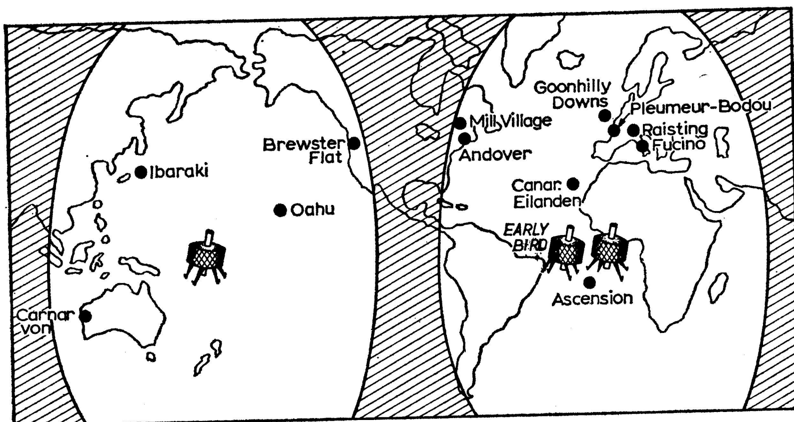


Fig. 28 Nadat Early Bird is vervangen door een nieuwe satelliet zullen twee kommunikatiesatellieten de wereldtelevisie verzorgen. Intersat verzorgt dit via Comsat.

en televisie van Moskou naar Vladivostok over te zenden en terug. Tijdens het apogeum van haar baan op bijna 40000 km hoogte beweegt de kunstmaan zo langzaam, dat zij lange tijd voor haar doel is te gebruiken. Men heeft de baan zo ingesteld, dat dit apogeum boven de Sovjet-Unie valt. Op 13 oktober volgde een tweede Molniya, die ook 1 wordt genoemd. Deze diende om twee kleurentelevisieprogramma's gelijktijdig van Moskou naar Parijs en vice versa te zenden. Zo verbond zij Frankrijk met Rusland. Inmiddels zijn er meerdere Molniya's gevolgd.

Reeds in 1962 had het kongres van de Verenigde Staten een wetsontwerp aangenomen, de 'Communications Satellite Act', waardoor een speciale instelling werd gesticht, de '*Comsat*', die een wereldomvattend kommunikatiesysteem moest creëren. Er werden aandelen uitgegeven en verkocht en in 1964 verenigden 14 landen zich tot '*Intelsat*', die hetzelfde doel op internationaal niveau nastreefde.

Deze instelling liet, met Comsat als tussenpersoon, een nieuwe kommunikatiesatelliet lanceren: de *Lani Bird.* Dit is de eerste van een nieuwe serie sterke schakels in een wereldomvattend kommunikatiesysteem (fig. 28). Intelsat is de eigenaar van de kunstmaan en van de grondstations, die haar kontroleren. Haar lidstaten gebruiken die voor hun verbindingen. Een tweede inter-

nationale overeenkomst in 1966 breidde Comsat tot 53 landen uit. Een bestuur van 16 personen regelt de zaken en vergadert maandelijks in Washington. De Lani Bird, uitgerust met bijna 13000 zonnecellen die 85 watt vermogen leveren, was bedoeld voor de Grote Oceaan. Om hier een synchrone satelliet op de juiste plaats te krijgen is een zeer nauwluisterend probleem. Zou het niet gelukken een kunstmaan voldoende nauwkeurig in haar baan te brengen, dan zou men haar kunnen overbrengen naar de Atlantische Oceaan en de volgende opnieuw naar de Grote Oceaan dirigeren.

De lancering vond op 26 oktober 1966 plaats. Toen de Lani Bird op 30 oktober haar apogeum passeerde en haar motor werd gestart om haar in een cirkelbaan te brengen, gebeurde er niets. Ze bleef daardoor in een ellips lopen. Nu is de satelliet slechts 4 tot 8 uur bruikbaar tussen Hawaiï en Amerika. Waarschijnlijk weigerde de korrektiemotor tengevolge van de lage temperatuur. Daarom voorzag men de Lani Bird 2 motor van een extra warmteschild. Op 11 januari 1967 werd de *Lani Bird* 2 met sukses omhooggebracht. Zij kwam op 25 januari in een synchrone baan boven de Stille Oceaan. Meer dan 12000 zonnecellen leveren 85 watt en het is de bedoeling, dat deze satelliet meer dan vijf jaar dienst zal doen. De COMSAT betaalde dan ook 3,5 miljoen dollar voor het lanceren.

Intussen werd het aantal grondstations verder verbeterd en uitgebreid. Behalve de reeds bestaande in Andover, Goonhilly Downs, Pleumeur-Bodou, Raisting en Ficino, worden er nieuwe voltooid in Spanje, op Ascension, de Canarische Eilanden, Carnarvon, Brewster Flat en op Hawaiï. Japan vergrootte de antenne van zijn station in Ibaraki.

Op 7 december 1966 werd de ATS-1 gelanceerd vanaf Cape Kennedy. Deze satelliet dient om het radioverkeer te helpen. Zij bevindt zich vrijwel stationair boven het Christmas eiland in de Stille Oceaan op 36400 km hoogte. Om de astronomische radio-ontvanger in Sidney niet te storen kon de zender in de ATS-satelliet bij 406,8 MH niet werken. Zodoende kon het ionosfeeronderzoek met deze kunstmaan geen doorgang vinden. Op 11 december 1966 fotografeerde zij de aarde. Bijna de hele aardbol (voorzover zichtbaar vanuit zo'n satelliet) staat op de opname (pl. XIV). Vooral voor de meteorologen is zo'n opname van het enorme

Grote-Oceaangebied in zijn volle omvang met alle daar zichtbare wolkenpartijen een zeer waardevolle richtlijn bij hun werk. Een lancering van een tweede ATS op 5 april 1967 mislukte doordat de tweede trap van de Atlas-Agena niet genoeg kracht ontwikkelde.

Overzicht van het projekt-Transit

jaar	*lanceerdatum*	*naam*	*P* min	*i* o	*H* km	*h* km
1960	13 april	Transit 1 B	95	51	670	385
	22 juni	Transit 2 A	102	67	1050	640
1961	29 juni	Transit 4 A	104	67	1010	895
	15 november	Transit 4 B	106	32	1130	935

Overzicht van het projekt-Echo en Pageos

1960	12 augustus	Echo 1	118	47	1700	1505
1964	25 januari	Echo 2	109	83	1310	1020
1966	24 juni	Pageos 1	181	87	4275	4225

Overzicht van de kommunikatiesatellieten

1960	4 oktober	Courier 1 B	107	28	1240	940
1962	10 juli	Telstar 1	158	45	5640	955
	13 december	Relay 1	185	48	7440	1320
1963	14 februari	Syncom 1	1426	34	39975	34230
	7 mei	Telstar 2	225	43	10805	975
	28 juli	Syncom 2	1436	33	35780	35570
1964	21 januari	Relay 2	195	46	7415	2090
	19 augustus	Syncom 3	1436	0	35800	35800
1965	6 april	Early Bird	1436	0	35600	35000
1966	26 oktober	Lani Bird 1	670	26	36750	300
1966	7 december	ATS 1	1436	0	36400	36400
1967	11 januari	Lani Bird 2	1436	0	36500	36400
1967	22 maart	Lani Bird 3	1436	0	36400	36400
1967	5 april	ATS 2				
1965	23 april	Molniya I 1	720	65	39960	530
	14 oktober	Molniya I 2	719	65	39950	490
1966	25 april	Molniya I 3	710	65	39500	505
	20 oktober	Molniya I 4	714	65	39690	500

tiende hoofdstuk

kunstmanen van velerlei soort

Kunstmanen in dienst van de meteorologie – Tiros bespiedt de aarde – Wolkenfoto's bij duizenden – Het APT-systeem – Nimbus in aktie – Geen spektakulaire vooruitgang voor de weervoorspelling? – Peilingen van de ionosfeer – De Alouette meet – Het veelomvattende projekt-Explorer – De samenstelling van de dampkring – Waterstof en helium op grote hoogte – Kunstmanen bij honderden – Ook Europa wil een kunstmaan – Engeland blijft de USA trouw – Het projekt-Ariël – Italië is al in aktie – Franse plannen worden werkelijkheid – Ook Japan doet mee – Snelle bewegingen in de ionosfeer – Kunstmatige meteoren – Een Nederlandse bijdrage – Meteoorsporen kunstmatig gemaakt.

Voor het leven van ons mensen is de troposfeer het belangrijkste gedeelte van de dampkring. In deze nauwelijks meer dan tien kilometer dikke luchtlaag speelt zich ons leven af, tot voor kort alleen op het aardoppervlak, maar sinds de komst van het vliegtuig ook op grotere hoogte. In dit gebied heerst ook het spel van wolken, weer en wind, dat in hoge mate ons leven beïnvloedt. Het weer is niet alleen in ons land een permanent onderwerp van gesprek, maar daarnaast eèn essentieel onderdeel van het dagelijks leven, dat zijn stempel drukt op een deel van de ekonomie en op de gang van het verkeer. Mist, ijzel, sneeuw en regen zijn faktoren waarmee wij tijdig willen rekenen en die door het dagelijkse weerbericht worden voorspeld. De meteorologen, die de verplaatsingen van de gebieden met slecht of mooi weer op hun weerkaarten volgen, moeten hun verwachtingen baseren op een groot aantal metingen en waarnemingen. Die worden dagelijks op vaste tijden verricht op vele vaste waarnemingsstations overal ter aarde. Zij worden aangevuld met de gegevens van vliegtuigen en schepen, die de oceanen oversteken. Zo verkrijgen de meteorologen een voortdurende stroom van dagelijks verse gegevens over het weer.

Sinds 1960 is daar een nieuwe bron van inlichtingen bij gekomen. Ook de ruimtevaart biedt op dit gebied een misschien

groots perspektief. Vanuit snel om de aarde bewegende satellieten kan men immers grote delen van de dampkring waarnemen en fotograferen. Daarvoor geschikte kunstmanen kunnen hun instrumenten in dienst stellen van de weerkundigen; zij kunnen de bouw van uitgebreide wolkensystemen rondom cyclonen en depressies waarnemen en nagaan hoe die zich verplaatsen en bewegen. Zo ontsproot de gedachte een reeks satellieten te bouwen geheel ten behoeve van de meteorologie. In de eerste plaats waren ze bedoeld om wolken vanaf grote hoogte te fotograferen; daarna kon men nagaan wat daaruit voor verdere waardevolle gegevens zouden kunnen volgen. Het *projekt-Tiros* begon op 1 april 1960, toen met een Thor-Able-raket een grote hoededoos van 125 kg met een hoogte van 50 cm en een diameter van 1 m in een baan om de aarde werd gebracht. De Tiros bevatte geen hoed maar wel kon zij wolkenfoto's maken. Zij ontleende haar energie aan 9260 zonnecellen. De rotatie, die aanvankelijk zeer snel was (136 keren per minuut), werd vertraagd door twee gewichten aan lange kabels los te laten. Vanaf een hoogte tussen 702 en 762 km maakte de Tiros met twee televisiekamera's opnamen met een expositietijd van 0,0015 sek. De ene kamera had een gezichtsveld van 1280 km en de andere van 128 km, gerekend van 640 km hoogte. Doordat de uiteindelijke baan dus wat hoger lag werden de gezichtsvelden wat groter. Iedere kamera vormt een beeld van 500 lijnen, die elk weer uit 250 punten zijn opgebouwd. Het beeld werd in de vorm van elektrische signalen op een magnetische band opgenomen. Iedere kamera had zijn eigen bandrecorder, die genoeg speelruimte bevatte voor 32 plaatjes. De camera nam 2 plaatjes per minuut en Tiros zond ze weer uit op kommando vanaf de grond. Twee volgstations, de ene in New Jersey, de andere op Harvard, namen de signalen weer op. De kamera's konden ook direkt zenden via de in de hoededoos gebouwde zender en dat bleek een gelukkige omstandigheid te zijn, want de klok die een der bandrecorders regelde, weigerde reeds spoedig. Tiros gebruikte een geelfilter, dat licht tussen 4500 en 8000 Å doorliet.

Bij heldere hemel vertonen de foto's kustlijnen, besneeuwde bergen (pl. VII) en zandduinen in de woestijnen. Het land is over het algemeen helderder dan de zee, want het vertoont een 10 procent hogere albedo dan het water. Soms echter is dat ook

wel eens omgekeerd door spiegeling van het zonlicht in het water. Zo toonde deze Tiros voor de eerste maal reeksen foto's van de aarde, zoals de ruimtevaarders die zouden aanschouwen. Deze direkte opnamen van het aardse landschap waren naast de wolkenfoto's de waardevolste wetenschappelijke resultaten van de Tiros-satelliet (pl. VII).

Ook de wolkenfoto's waren echter van groot belang. Tiros heeft heel wat cyclonen gefotografeerd en voor het eerst werd ook een foto van een tyfoon met bijbehorend wolkenstelsel genomen (pl. VIII). Bij jonge cyclonen, vooral over de kontinenten, ziet men grote onbewolkte gebieden in de koude luchtlaag achter het koufront. Wolken op gemiddelde hoogte lijken een patroon te vormen van celstrukturen. Ze tonen overeenkomst met het bekende celpatroon van Bénard-cellen, maar de verhoudingen van de horizontale afmetingen tot de diepte liggen anders, namelijk 30 : 1 in plaats van 3 : 1. Dit is een gevolg van een bepaalde temperatuursverdeling. Van 0 tot 1500 m hoogte daalt de temperatuur, waardoor de lucht daar zeer droog is.

De goede resultaten van de eerste Tiros moedigden de Amerikanen aan met dit programma voort te gaan. Op 23 november 1960 werd de volgende Tiros gelanceerd, even groot en zwaar als de eerste. Aan boord waren ook een aantal stralingsmeters, die in nummer 1 ontbraken, om de temperaturen aan de bovenkant van de wolken en de infrarode straling van de aarde te meten. Om de draaiingsas te oriënteren werd nu ook gewerkt met magnetische spoelen. Gedurende de eerste vijf maanden zond Tiros 2 reeds 25 000 000 infraroodmetingen uit, waaruit de geografische distributie van de temperatuur volgde.

De derde Tiros (12 juli 1961) werd voorzien van twee groothoekkamera's. De Tiros 2 zond toen nog uit. Dat bleek later een geluk te zijn, want een van de kamera's faalde reeds spoedig. Intussen had zij toch reeds meer dan 2000 uitstekende foto's opgenomen. Tiros 4 was dan ook behalve van een groothoeklens voorzien van een tweede televisiekamera met een betere lens. Het waargenomen gebied is 725 bij 725 km gezien vanaf 760 km hoogte in vertikale richting. Het ruimteschip was gestabiliseerd op een rotatie van 12 à 13 omwentelingen per minuut en dat beperkte de mogelijkheid om de aarde te fotograferen. Slechts voor ongeveer een derde deel van iedere baan waren de kamera's op

het verlichte gedeelte van de aarde gericht. Een speciaal onderdeel van het Amerikaanse weerbureau besliste wanneer gebieden onder de satellietbaan van voldoende belang waren voor de meteorologen om ze op te nemen. Dat hangt uiteraard ook af van de oriëntatie van de Tiros, van de kapaciteit van haar bandje en van de ligging van de grondstations. Met iedere kamera wordt een strook van bijna 10000 km van de aarde opgenomen. In de eerste twee jaar verzamelden de Tiros-satellieten op deze wijze meer dan 100000 foto's.

Om het waarneembare gebied uit te breiden besloot men de Tiros 5 een iets grotere inklinatie te geven (58°), zodat deze het aardoppervlak tot 65° noorder- en zuiderbreedte kon fotograferen en ook het subpolaire gebied in kaart kon brengen (pl. VIII). Tiros 5 en 6 voerden geen infraroodinstrumenten. Pas Tiros 7 (19 juni 1963) bevatte weer dergelijke toestellen, die ook dienen om na te gaan hoeveel warmte de aarde uitstraalt. Men wil de zonne-energie meten, die door de aarde wordt geabsorbeerd, teruggekaatst en uitgezonden, en daaruit dan de warmtebalans van de aarde berekenen. Nog steeds weet men niet of de aarde op de lange duur warmer of kouder wordt.

Tiros 8 bevatte een bijzonderheid. Nadat de lancering op 17 december 1963 door moeilijkheden in de automatische besturing van de eerste trap was uitgesteld, werd ze op 21 december met sukses omhooggebracht. In 99 minuten cirkelde ze om de aarde tussen 695 en 765 km hoogte in een baan met een inklinatie van 58°. Behalve dezelfde apparatuur als in de vorige kunstmanen van deze serie was er een nieuwe experimentele kamera in de satelliet aangebracht. Deze werd de APT genoemd ('Automatic Picture Transmission'). Met een eenvoudige, met de hand gerichte, schroefvormige antenne, een normale radio-ontvanger en een standaard facsimile-machine kon men het beeld van deze kamera opvangen. In de satelliet werd het uit 800 lijnen bestaande beeld in acht sekonden opgenomen. Om het af te lezen waren 200 sekonden vereist. De APT-kamera had een lens van 5,7 mm (f/1,8). Het veld was 108°, dat is vertikaal gezien 1300 bij 1300 km van 700 km hoogte. Het beeld werd op een speciaal videconbuisje opgenomen. De reeks beeldjes kwamen op een band en een ingestelde klok herhaalde de uitzending van de plaatjes op geregelde tijden tijdens iedere omloop van de kunstmaan. Op 42

grondstations, van Mc Murdo Sound in het Zuidpoolgebied tot Alaska en van de Azoren tot Okinawa, werden de beeldjes opgevangen. In november, een maand voor de lancering, kregen deze stations reeds de nodige aanwijzingen. Later distribueerde de World Meteorological Organisation de nodige gegevens om de Tiros in haar baan te kunnen volgen. De stations, die de kunstmaan waarnamen en plaatjes ontvingen, zonden dagelijkse rapporten aan Goddard Space Flight Center voor analyse.

De negende Tiros (22 januari 1965) was weer een nieuwe stap vooruit. Niet alleen was het een verbeterd ontwerp, maar bovendien werd de satelliet nu in een bijna polaire baan gebracht. De inklinatie $i = 97°$, dat is meer dan $90°$. Een dergelijke baan heet retrograad of teruglopend. De aarde draait eronder door, maar haar equatoriale uitpuiling veroorzaakt een precessie, die het baanvlak langzaam oostwaarts doet draaien, ongeveer $1°$ per dag. Intussen beweegt de zon schijnbaar (tengevolge van de jaarlijkse beweging van de aarde om de zon) ongeveer $1°$ oostwaarts. Daardoor blijft de zon bijna steeds in dezelfde positie ten opzichte van de Tiros 9. Bij de lancering zorgde men ervoor, dat de kamera van de Tiros 9 de zon 'in de rug' had. De zon stond dus steeds achter de Tiros, terwijl deze opnamen maakte van de verlichte kant van de aarde. Bovendien draaide de Tiros om een horizontale as, alsof zij langzaam langs haar baan rolde (fig. 29). De beide televisiekamera's zijn aan tegenovergestelde punten van de op een hoededoos lijkende satelliet aangebracht. Zij kijken dus beurtelings naar de aarde vanaf een hoogte tussen 710 en 2580 km.

Om de Tiros in deze baan te brengen en toch bij het lanceren niet over dicht bevolkte streken van de Verenigde Staten te laten vliegen, was het nodig de Delta-raket drie keer opnieuw in de ruimte te ontsteken. Dit was de meest gekompliceerde lanceerstunt, ooit in Amerika uitgevoerd. Na het opstijgen vloog de raket zuidwaarts langs de oostkust van Florida. Via Cuba draaide zij naar rechts over de landengte van Panama. Daarna volgde een draai naar links boven de Grote Oceaan, 300 km ten westen van Equador. Zowel de oriëntatie als de rotatiesnelheid werd gekontroleerd door elektromagnetische spoelen. Hoewel de levensduur op drie maanden was getaxeerd, werkten zowel de Tiros 7 als de Tiros 8 veel langer en het aantal foto's dat door

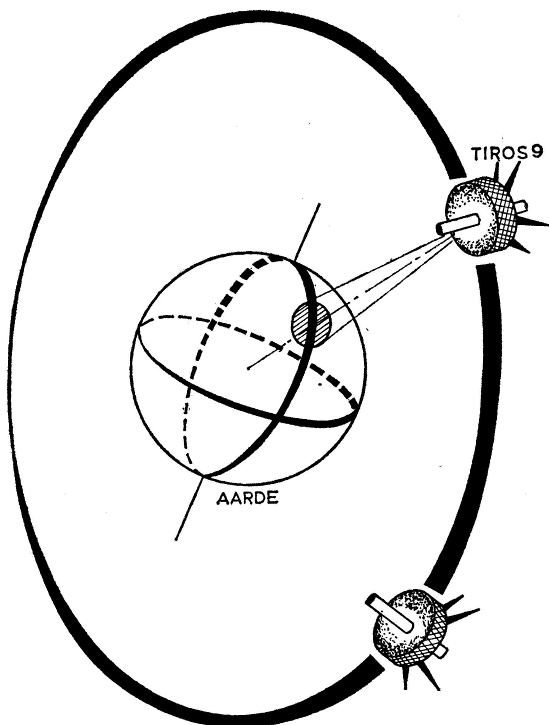


Fig. 29 Tiros 9 loopt in een polaire baan; de omwentelingsas van de satelliet staat loodrecht op het baanvlak. Een kamera steekt uit aan de zijkant; terwijl de Tiros langs haar baan rolt is deze bij iedere omwenteling een keer op het middelpunt van de aarde gericht. Dan wordt een wolkenfoto gemaakt.

deze lange reeks satellieten naar de aarde werd geseind liep in de honderdduizenden.

Een nieuwe serie weersatellieten kreeg de naam *Nimbus*. De eerste in deze reeks werd op 28 augustus 1964 gelanceerd en werkte slechts ongeveer een maand (tot 23 september). In die tijd maakte zij 27000 foto's. Een onverklaarbare wrijving in het mechanisme, dat de zonnepanelen draaide, veroorzaakte storing in de energieproduktie, waardoor de verwachte levensduur van zes maanden niet werd bereikt. Hoewel het de bedoeling was deze eerste Nimbus in een cirkelbaan op 925 km hoogte te brengen, bereikte zij die niet door het onvoldoende funktioneren van de raket. Zij kwam in een ellipsbaan tussen 425 en 940 km hoogte. Met behulp van een nieuw soort kamera, de AVCS ('Advanced

Vidicon Camera System'), werden wolkenfoto's gemaakt, die ook weer op de band werden vastgelegd. Het APT-systeem werd gebruikt voor de uitzending. Bij intrede in de aardschaduw wordt de AVCS automatisch uitgeschakeld. Het was wel de bedoeling nu ook 's nachts foto's te maken, maar dat gebeurde met het HRIR-systeem ('High Resolution Infrared Radiometer'). Ook wilde men gedurende de poolnacht het Zuidpoolland op aarde fotograferen met dit systeem. Elk weerkundig instituut dat een APT-ontvanger bezit kan zes keer per etmaal rechtstreeks foto's van de kunstmaan aftappen.

De tweede Nimbus werd in mei 1966 met sukses in een bijna cirkelvormige baan gebracht. Meer dan 150 APT-stations maken van deze satelliet gebruik, waaronder vrij veel buiten de Verenigde Staten. Het KNMI in ons land is daar echter niet bij, omdat men de aanschafkosten van een ontvanger nog te hoog vindt en omdat voor het gebruik een uitbreiding van de personeelsbezetting nodig is. Zolang men er niet zeker van is, dat dit tot een spektaculaire vooruitgang op het gebied van de weervoorspelling zal leiden, wacht men af. Blijkbaar wordt dit nog betwijfeld.

In 1966 verschenen er wolkenfoto's van een nieuwe reeks satellieten: de *Essa's*. Essa 1 werd op 3 februari 1966 gelanceerd in een bijna polaire baan en neemt wolkenfoto's, die met een eenvoudig systeem naar de grond worden gezonden. Tijdens de passage van een Essa-satelliet kan men 2 of 3 van die foto's ontvangen. Behalve de meteorologen hebben ook de militaire instanties belangstelling voor foto's van de aarde.

Niet alleen de troposfeer, maar ook de hogere lagen van de dampkring zijn met kunstmanen verder onderzocht. Sedert 1920 is de ionosfeer op uitgebreide schaal nagevorst en gemeten door middel van radiosignalen. In de geïoniseerde lagen bevinden zich vrije elektronen. Verandert het aantal elektronen per cm^3 met de hoogte, dan wordt een invallend signaal voor een deel gereflekteerd. Is de verandering zeer sterk, dan kan er zelfs totale reflektie optreden. Deze eigenschap van de ionosfeer hangt samen met de brekingsindex n, die volgt uit de formule:

$$n^2 = 1 - c\,N f^{-2} \qquad (14)$$

Hierin is N = het aantal vrije elektronen per cm^3, de elektronendichtheid
f = de frekwentie van de radiogolven en
c = een konstante = $8{,}15 \times 10^{-39}$.

Daar $n < 1$ is wordt een van beneden invallende radiostraal gekromd en kan naar het aardoppervlak terugkeren zoals licht dat wordt teruggekaatst door een spiegel. Hier vindt echter geen scherpe terugkaatsing, maar een min of meer gekromde teruggang plaats. Dit maakt radioverkeer over grote afstanden mogelijk.

In dit geval worden de radiogolven niet gebroken, maar totaal teruggekaatst. Werkt de zender dus met een gerichte bundel radiosignalen, dan zal men in dit geval met een ontvanger ter plaatse echo's kunnen opvangen. Om de elektronendichtheid te bepalen gebruikt men een zender, die een reeks seinen uitzendt, waarvan de frekwentie langzaam toeneemt. Tegelijkertijd meet men de echotijd, dat is het tijdsinterval tussen het vertrek van de signalen en het ogenblik van ontvangst van de echo. Naarmate de elektronendichtheid toeneemt, zal de frekwentie van het echosein ook toenemen. Door deze te meten krijgt men een indruk over het verloop van de elektronendichtheid met de hoogte.

Signalen tussen 1,4 en 4 MH worden op ongeveer 100 km hoogte door de E-laag teruggekaatst. Kortere golflengten dringen daar doorheen en worden op ongeveer 200 km door de F1-laag opgevangen en gereflekteerd. Het maximum van de F1-laag ligt op 400 km en wordt bereikt door een signaal van 5 MH. Grotere frekwenties gaan nog hoger en bereiken de F2-laag op 350 km. Golven van 10 MH worden helemaal niet meer teruggekaatst (fig. 30).

Een der eerste satellieten, speciaal gebouwd voor onderzoek van de ionosfeer, was de *Alouette*. Op 29 september 1962 werd zij vanaf Vandenberg in een polaire baan gebracht. De 145 kg zware satelliet zond pulsen van 100 μ/sek. uit tussen 1,6 en 11,5 MH. De door de ionosfeer teruggekaatste echo werd door een ontvanger geregistreerd. Deze kon ook de kosmische radiostraling opvangen, waaruit dan de elektronendichtheid rondom de satelliet kon worden berekend. De gegevens werden door 15 volgstations opgenomen, vervolgens per band naar Ottawa gezonden en daar uitgewerkt. In het eerste jaar van haar aktiviteit leverde deze satelliet 2000 uur waarnemingsresultaten.

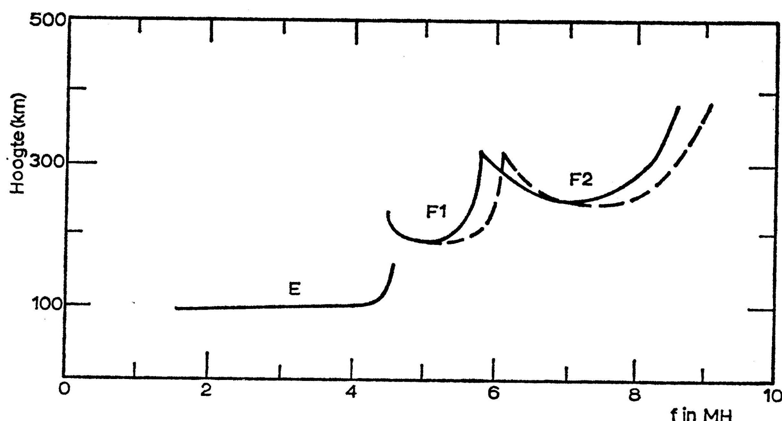


Fig. 30 De hoogte waarop pulsen van bepaalde frekwentie worden teruggekaatst verandert ten gevolge van de bouw van de ionosfeer.

De satelliet ontdekte het bestaan van drie geomagnetische breedtezones, waarin de eigenschappen van de ionosfeer verschillend zijn. Boven de magnetische evenaar dringen de geïoniseerde lagen vroeg op de dag omhoog en de ionisatie wordt extra groot. Op middelbare breedten lopen de contouren van gelijke ionisatie evenwijdig met het aardoppervlak, terwijl tussen 55° en 60° de hoogte sterk afneemt. Op nog hogere breedten zijn plaatselijk lagen met onregelmatige ionisatie, die niet gedetailleerd bestudeerd konden worden door het tekort aan oplossend vermogen, veroorzaakt door de te grote snelheid van de kunstmaan.

Bij peiling van de ionosfeer vanaf de aarde krijgt men alleen echo's uit dat deel van de geïoniseerde lagen, dat zich onder het ionisatiemaximum bevindt. De elektronendichtheid daarboven kan men niet onderzoeken. De pulszender in de Alouette kon echter ook het gedeelte tussen de satelliet en het maximum van de F 2-laag onderzoeken. Daaruit kent men nu het volledig verloop van de elektronendichtheid met de hoogte (fig. 31), ook boven het maximum. Daaruit is gebleken, dat het beeld, dat men zich aanvankelijk daarvan had gevormd, niet helemaal juist was. Oorspronkelijk dacht men aan een parabolisch verloop in een bepaalde laag, maar boven de F 2-laag is dat geheel anders. Reeds Spoetnik 1 toonde aan, dat het aantal ionen erboven veel minder snel afneemt dan eronder.

De ionosfeer ontstaat door de zonnestraling en de E- en F 1-lagen zijn dan ook 's nachts afwezig. De F 2-laag is er echter wel. Blijkbaar rekombineren de daar aanwezige elektronen zo langzaam met de ionen door de op die hoogten heersende grote

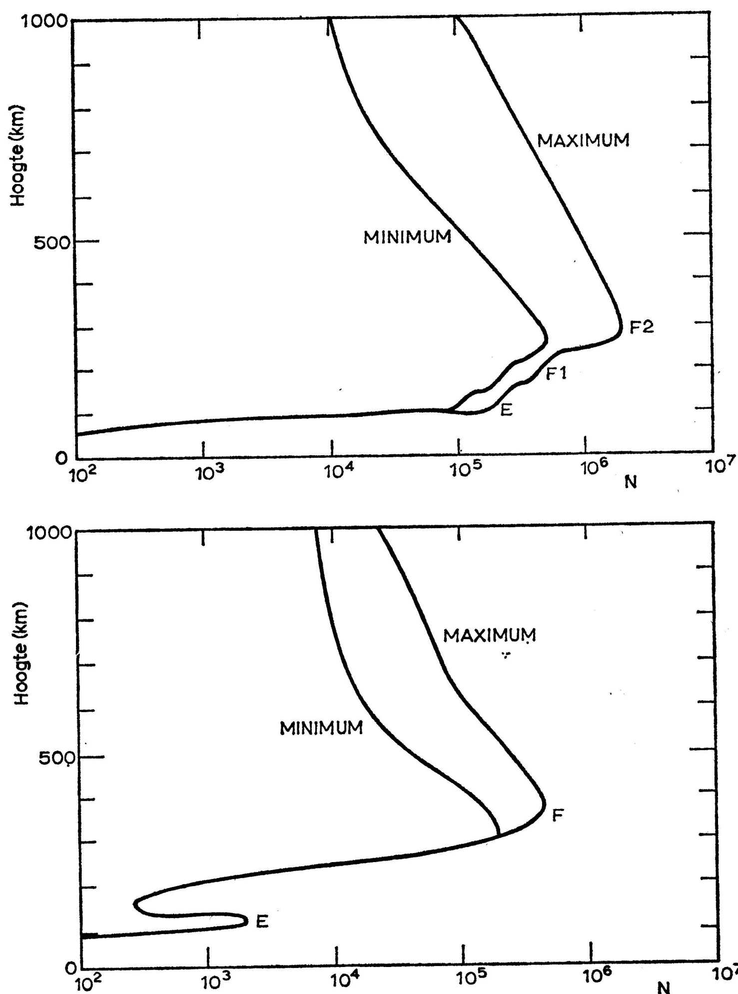


Fig. 31 Uit metingen door satellieten is het verloop van de elektronendichtheid met de hoogte gevonden, ook boven het maximum van de F 2-laag. Het zogenaamde parabolische verloop blijkt daarboven niet meer te gelden. De bovenste figuur geeft de toestand overdag weer, de onderste die gedurende de nacht bij twee extrema van zonneaktiviteit.

ijlheid, dat zelfs tijdens de nacht de laag niet zo spoedig verloren gaat. Onderzoek met de Spoetnik 3 had aangetoond, dat tussen 240 en 960 km de positieve ionen hoofdzakelijk zuurstofatomen zijn, die een elektron verloren hebben.

Een van de oudste, maar tevens een van de meest uitgebreide Amerikaanse kunstmaanprogramma's is het *projekt-Explorer*. Onder die serie schuilen er ook een aantal speciaal ten behoeve van het onderzoek van de ionosfeer. Zo werd op 3 november 1960 Explorer 8 gelanceerd vanaf Cape Canaveral. De eerste trap van de raket was een Jupiter IRMB met vergrote brandstoftanks. De volgende drie trappen werkten op vaste brandstoffen. Deze satelliet bevatte geen zonnecellen, maar batterijen met een lange levensduur. De kunstmaan bevatte een geïsoleerde schijf, waarvan de potentiaal ten opzichte van de aluminiumhuls van de satelliet gevarieerd kon worden. De stroom, die van de schijf via de omringende deeltjes naar de huls liep, kon gemeten worden. Door een reeks voltages te doorlopen kon men zo de snelheid van de elektronen om de satelliet bepalen en daaruit volgt ook hun temperatuur. Verder werd het aantal geladen deeltjes en hun massa bepaald. Daar deze instrumenten veel stroom vragen, werkte men liever met batterijen en de toestellen werden slechts af en toe op kommando van de grond ingeschakeld.

Met hetzelfde doel werd later Explorer 20 gelanceerd (25 aug. 1964). De in de satelliet gebouwde instrumenten peilden vanaf ca. 1000 km hoogte de elektronendichtheid in de dampkring. De Universiteit van Londen had er een massaspektrograaf ingebouwd om gegevens te verkrijgen over de ionenkoncentratie en de temperatuur om de satelliet.

Op 9 oktober 1964 volgde de Explorer 22, ook wel de S-66-satelliet genoemd. De oorspronkelijke lancering in augustus 1963 mislukte en de kunstmaan viel toen midden in de Atlantische Oceaan. Het volgende jaar kwam zij echter toch in een bijna polaire baan ($i = 80°$) met een viertraps Scout-raket. De meer dan 50 kg zware satelliet was achthoekig van vorm en voorzien van vier panelen met zonnecellen, zodat zij op een windmolen leek. De satelliet was gestabiliseerd door magneten, die zich richtten in het aardmagneetveld. Niet alleen bestudering van de ionosfeer, maar ook geodetische metingen stonden op het programma. Een laserstraal vanaf de grond moest door de kunst-

maan worden teruggekaatst en dat gelukte ook, hoewel minder helder dan werd verwacht.

Wij willen hier ook nog de in mei 1966 gelanceerde Explorer 32 noemen, die met een Delta-raket omhoog werd gebracht met een nieuwe FW-4-motor, die werkte op vaste brandstof. Ook deze kapsule was uitgerust met zonnecellen, die de batterijen steeds weer konden opladen. Hoewel haar levensduur op 1 jaar was getaxeerd, werkte zij slechts 3,5 maand, maar in die tijd bestudeerde zij toch intensief de fysische processen in de hoge atmosfeer.

Met zeer vernuftige instrumenten bepaalde men de dichtheid en de temperatuur van de neutrale deeltjes door ze te ontleden in ionen en elektronen. Deze lopen daarna door elektrische en magnetische velden en worden ook geteld. Ook de elektronendichtheid en de temperatuur rondom de satelliet werd bepaald.

Stoney had al in 1953, vóór de tijd van de ruimtevaart, aangetoond, dat onweersontladingen radiogolven uitzenden, die kunnen worden voortgeplant langs de veldlijnen van het aardmagnetische veld van het ene halfrond naar het andere. Zij kunnen daarbij hoogten van enkele tienduizenden km bereiken. De radiogolven zijn dan op aarde op grote afstanden van hun oorsprong waarneembaar als fluittoontjes of *whistlers*. De frekwentie van deze radiostraling is zeer laag (1 tot 30 kH, golflengte 10-300 km). De ionenkoncentratie op zeer grote hoogten in de dampkring moest dus veel groter zijn dan men vroeger had aangenomen. Uit de whistler-aktiviteit vond men bovendien aanwijzingen voor een jaarlijkse variatie. De oorsprong van die extra grote hoeveelheden ionen moet men waarschijnlijk zoeken in de protonen van de zonnewind, die hun lading gedeeltelijk overdragen aan ongeladen zuurstofatomen.

Uit de vertraging van satellieten op zeer grote hoogten leidde Nicolet af, dat de exosfeer behalve waterstof- en zuurstofionen ook grote hoeveelheden *helium* bevat. Hij suggereert, dat helium een zeer belangrijke rol speelt in de evenwichtsprocessen op grote hoogte. Op lagere niveaus is het zuurstofion het belangrijkste bestanddeel van de ionosfeer. Helium overheerst op grotere hoogte en daarboven komen waterstofionen (fig. 32). Hier kan men dus pas echt van de *protonosfeer* spreken. Het overgangsgebied is sterk veranderlijk en de hoogte ervan hangt af van de zonnevlekkencyclus en andere zonnestoringen. De raketmetingen hebben

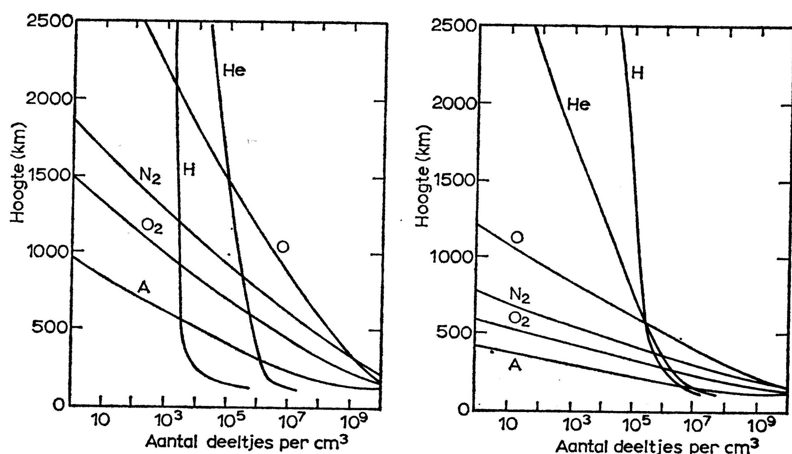


Fig. 32 De samenstelling van de hoge atmosfeer wijkt af van die aan de grond. Links de toestand overdag bij een grote aktiviteit van de zon, rechts de nachtelijke situatie bij een minimum aktiviteit.

ook aangetoond, dat de elektronentemperatuur lager is dan de gastemperatuur. In de vroege morgen van iedere dag is de elektronentemperatuur hoog; zij daalt gedurende de dag en stijgt weer in de vroege avond.

Het tot nu toe uitgebreidste wetenschappelijke projekt is dat van de *Kosmos* (pl. II). Het aantal in het kader van deze onderneming gelanceerde kunstmanen heeft de honderd al verre overschreden. Kosmos 1 werd op 16 maart 1962 omhooggebracht naar een baan tussen 220 en 1560 km. De kunstmaan was bestemd om de stralingsgordels te onderzoeken en de kosmische straling te meten. Kosmos 2 (6 april 1962) diende ook voor wolkenfoto's. Kosmos 4 had een grotere baanhelling dan de drie voorgaande satellieten. Het zou buiten het bestek van ons overzicht vallen hier alle Kosmos-satellieten te bespreken. Bovendien zijn in vele gevallen slechts schaarse bijzonderheden erover bekend gemaakt. De wetenschappelijke opdrachten waren zeer gevarieerd; er zijn Kosmos-satellieten voor allerlei doeleinden gelanceerd. Wij noemen er willekeurig enkele: Kosmos 26 voor geomagnetisch onderzoek, Kosmos 29 voor militaire doeleinden met kamera's uitgerust en teruggehaald na een week (op 2 mei 1964), Kosmos 41, 42 en 43 alle drie gelijktijdig met een raket gelanceerd op 18 augustus 1964, Kosmos 45 voor metingen van de infrarode

en ultraviolette straling. Kosmos 51 onderzocht de sterrenhemel in ultraviolet en visueel licht, Kosmos 54, 55 en 56 weer gelijktijdig gelanceerd met een raket, Kosmos 110 (22 februari 1966) met twee honden, Veterok en Ugolek. Na tweeëntwintig dagen zijn beide hondjes weer veilig geland. Bij Kosmos 112 bereikten de Russen voor de eerste keer een inklinatie van 72°. Engelse radio-amateurs, scholieren met een leraar, ontdekten dat de Sovjet-Unie in het hoge noorden de beschikking had gekregen over een nieuwe lanceerbasis.

Speciaal voor het onderzoek van de hoge atmosfeer dienden de *Elektron* 1 en 2 (30 januari 1964). Zij registreerden ionen van waterstof, helium, stikstof en zuurstof en maten de kosmische straling. De Russen lanceerden beide Elektrons met één raket. De tweede kreeg een veel hogere baan.

Ook de Europese landen gingen na, hoe zij een bijdrage konden leveren tot de ruimtevaart. Aanvankelijk geschiedde dit alleen maar in het kader van samenwerking met de Amerikanen. Zo werd in maart 1959 door de Amerikaanse delegatie bij de internationale ruimtevaartorganisatie COSPAR ('Committee on Space Research') bekendgemaakt, dat Amerika bereid was satellieten te lanceren met ongeveer 70 kg aan wetenschappelijke instrumenten voor geleerden van andere landen, mits de experimenten van voldoende wetenschappelijke waarde zouden zijn. Engeland was het eerste land, dat dit aanbod aannam en de samenwerking resulteerde in het *projekt-Ariël*.

Ariël 1, ook wel S 51 of UK 1 genoemd, werd op 26 april 1960 gelanceerd. Met een Amerikaanse satelliet en Engelse instrumenten vertrok de Ariël van Cape Canaveral en kwam in een baan tussen 400 en 1200 km hoogte. De Ariël had de vorm van een cilinder en was voorzien van vier wieken met zonnecellen en twee 1,20 m lange staken. De ene draagt een elektronendichtheidsteller, de andere een elektronentemperatuurmeter. Een ander stel staven vermeerdert het traagheidsmoment van de kunstmaan, zodat de rotatie wordt vertraagd. De gegevens van de instrumenten worden op een band opgenomen, die 100 minuten metingen in twee minuten kon afdraaien. De zender werd automatisch na een jaar uitgezet. In de cilinder zelf zaten meetinstrumenten voor kosmische stralingen en ionen-apparaten voor röntgenstraling om de zonnestraling in Lyman alfa te meten.

Op 27 maart 1964 werd Ariël 2 gelanceerd vanaf Wallops Eiland (Virginia) met een viertraps-Scout-raket, die op vaste brandstof werkt. Zij meet de radioruis van de melkweg, de distributie van de ozon met de hoogte en het aantal mikrometeorieten. Het is een gewijzigd model van de Ariël 1, cilindervormig, 88 cm lang, diameter 58 cm en 68 kg zwaar. Aanvankelijk tolde zij 160 keer per minuut rond, verbonden met de vierde trap van de raket. Uitschieten van gewichten aan kabels reduceerde dit tot 60 maal per minuut en het uitsteken van wieken, staven en antennes tot 5 maal. Iedere keer, dat de Ariël 2 de aardschaduw in- of uitging, werd de gehele zendapparatuur besteed aan de ozonwaarnemingen. De ozon werd gemeten uit de verandering in intensiteit van het zonlicht tussen 2500 en 4000 Å, dat gedeeltelijk door de ozon werd geabsorbeerd.

Op 5 mei 1967 volgde de Ariël 3. Een Scout raket bracht de kunstmaan in een baan op 550 km hoogte. Zij voerde vijf wetenschappelijke experimenten uit door Engelse universiteiten voorbereid.

Behalve Engeland besloot ook Frankrijk in overleg met de NASA zes kunstmanen vanuit Vandenberg te doen lanceren voor onderzoek van de ionosfeer.

Daarnaast werd er in Europa ook aan aparte organisaties gewerkt om gezamenlijk tot ruimtevaartprojekten van de Westeuropese landen te komen. De ESRO ('European Space Research Organisation') organiseerde bijvoorbeeld lanceringen vanaf Sardinië in juli 1964. Hier werden twee 10 m hoge Skylark-raketten (gewicht 1450 kg) vanuit de basis Salto di Quirra omhooggebracht. In het ruimtevaartlaboratorium te Delft (later naar Noordwijk verplaatst) werden de neuskegels klaargemaakt, die wolken ammoniak op 210 km hoogte uitspuwden en wolken barium op 150 km. Vanuit drie waarnemingsposten op Sardinië werden de wolken gevolgd en de bewegingen van deze kunstmatige meteoorsporen gaven nadere inlichtingen over de winden in de aardse ionosfeer. Deze onderneming was georganiseerd door instituten te Luik en München. Het is de bedoeling om bovendien een Europese satelliet te gaan lanceren. De lancering, die in het voorjaar van 1967 zou plaatsvinden in Californië werd vertraagd, doordat de Amerikanen geen raket beschikbaar hadden. Toen die enkele maanden later tenslotte beschikbaar was, mislukte

de lancering omdat de derde trap weigerde. De Esro 2 is mislukt.

Naast de vermelde wetenschappelijke organisatie noemen we de ELDO ('European Launcher Department Organisation'), die een grote Europese raket ontwikkelt, waarbij de kosten over de EEG-landen met Engeland samen werden omgeslagen. De organisatie is in Parijs gevestigd, heeft een technisch centrum in ons land (ESTEC), een proefterrein te Kiruna in Zweden, een computercentrum in Darmstadt en een onderzoekcentrum in Italië. De definitieve startbasis is in Woomera in Australië. Volgstations bevinden zich op Spitsbergen, de Falkland-eilanden en in Alaska.

Vanuit de basis *Esrange* te Kiruna vuurt men raketten af voor ionosfeeronderzoek. Zij is in 1966 in gebruik genomen. Het is een terrein dicht bij de poollichtzone in een schaars bevolkte omgeving. Radar en volgstations gaan de gelanceerde raketten na. Men wil lichtgevende nachtwolken onderzoeken en is er reeds in geslaagd kunstmatig poollicht op te wekken.

De eerste start van de *Europa* 1 vond op 5 juni 1964 met sukses plaats. De raket van 92 ton (25 m hoog) bereikte een hoogte van 157 km. Op 5 augustus 1965 mislukte een tweede start, op 24 mei 1966 vond er een derde poging plaats met gedeeltelijk sukses. De Europa is een drietraps raket, de eerste trap is de Engelse Blue Streak met drie motoren, die op kerosine en vloeibare zuurstof werken met 136 ton stuwkracht. De tweede trap is van Franse makelij: de Coralie heeft vier motoren en 28 ton stuwkracht. Ook die werkt op vloeibare brandstof. De derde trap is door Duitsland gemaakt.

Daarnaast bedrijven diverse Europese landen eigen nationale ruimtevaartprojekten. De Italianen wilden boven de Indische Oceaan lanceren, 240 km ten zuiden van de evenaar, aan de kust van Afrika. Hier ligt een voormalig booreiland, 10 km van de kust van Kenya. Dit is het *projekt-San Marco*. Vanaf een platform, dat 45 m boven de zee uitsteekt, 135 m van een ander platform verwijderd, waarop zich een blokhuis en een volgstation bevinden, wil men een satelliet lanceren met daarin een andere losse satelliet. Zo wil men trachten de vertraging en daaruit de dichtheid in de atmosfeer te bepalen tussen 240 en 480 km. De buitenste satelliet wordt een beetje geremd, terwijl de binnenste ongestoord de baan volgt. Testlanceringen zijn begonnen op

Wallops Eiland, in Virginia. De NASA levert grotendeels de raketten, de instrumenten en de uitvoering komen dan in Italiaanse handen. *San Marco* 1 werd op 15 december 1964 vanuit Amerika gelanceerd en kwam in een baan tussen 200 en 850 km hoogte (inklinatie 38°, omlooptijd 95 min.). *San Marco* 2 werd op 26 april 1967 inderdaad vanaf de Afrikaanse kust gelanceerd en kwam in een equatoriale baan.

Frankrijk gaat (uiteraard) ook zijn eigen weg. Vanuit de raketbasis Hammaguir in de Sahara werden een aantal proeflanceringen uitgevoerd. Bij deze tochten gingen ook wetenschappelijke instrumenten mee omhoog. Hieronder zijn ook Nederlandse instrumenten geweest, ontwikkeld door het Laboratorium voor Ruimteonderzoek van de Utrechtse Universiteit. Het was de bedoeling daarmee de röntgenstraling van de zon te meten tussen 10 en 60 Å. Dit geschiedde op 14 april 1964 met de Véronique, een eentrapsraket met vloeibare brandstof, die 118 km hoogte bereikte. Bij de daling weigerde echter de parachute open te gaan, die de neuskegel met instrumenten onbeschadigd naar de aarde moest laten dalen, zodat het experiment mislukte. In het najaar had men meer sukses.

Op 26 november 1965 werd de A 1 gelanceerd. Met de Franse Diamond-raket werd een maantje zonder instrumenten in een baan tussen 530 en 1750 km gebracht. Het was weliswaar geen met instrumenten beladen kabine, maar desondanks een eerste geslaagde proef. De echte Franse kunstmaan, de *Diapason*, volgde op 17 februari 1966. Zij woog 40 kg en bevatte vier panelen met 2300 zonnecellen. Het was een bol met 50 cm diameter, die in een baan tussen 500 en 2750 km om de aarde ging cirkelen. Zij voerde een geodetisch programma uit. In de satelliet zat een kwartsklok, waarvan de tijdseinen op aarde werden opgevangen, terwijl de kunstmaan ook vanuit de sterrewacht te Nice tussen de sterren werd gefotografeerd. Met een klok hoopt men de relativiteitstheorie nog eens te kunnen testen, door na te gaan of de tijd in een satelliet even snel verloopt als op aarde. De Franse raket heeft drie trappen en is 18,7 m lang. De eerste trap werkt op terpentijn en salpeterzuur, de beide andere werken op vaste brandstoffen.

In 1967 lanceerde Frankrijk geodetische satellieten (8 februari de Diadème 1 en 15 februari de Diadème 2), beide met een

Diamond-raket vanaf Hammaguir. De bijna 23 kg zware maantjes droegen 144 zeshoekige reflektoren. Ze waren magnetisch gestabiliseerd en voorzien van 2300 zonnecellen voor de stroomvoorziening. Vanuit Nice werden ze weer gefotografeerd. Bovendien werden ze gepeild vanuit de observatoria St. Michel in Frankrijk, Stephanion in Griekenland en Colomb-Bechar in Algerije. Ieder van die stations heeft een atoomklok voor exakte tijdsbepaling, terwijl een vierde soortgelijke klok van het ene naar het andere station reist voor de synchronisatie. Zo wil men de posities en daaruit de vorm van dit deel van de aarde precies bepalen.

Hoewel China ongetwijfeld raketten aan het ontwikkelen is met militaire doeleinden, heeft Japan op dit gebied al meer gepresteerd. Op 11 juli 1964 lukte het de Japanners van hun basis Kagoshima in zuidelijk Hyiushu met de raket *Lambda* 3 een hoogte van 10000 km te bereiken. Op 26 september 1966 voerde het Japanse instituut voor ruimtevaart een eerste proefvlucht uit met de Lambda 4. Deze mislukte evenwel en ook een tweede poging op 20 december had geen sukses. In beide gevallen bereikte de kunstmaan met instrumenten haar baan niet. Dit was de vierde trap van een 9,5 ton zware raket, die 17 m lang was.

Wij zagen reeds, dat er allerlei verschijnselen in de ionosfeer zijn, die er op wijzen, dat er zeer krachtige winden voorkomen met snelheden van meer dan 50 à 100 m/sek. Het bestaan van die sterke luchtstromingen manifesteert zich ook in dagelijkse variaties van het magneetveld van de aarde. Doordat de ionosfeer geladen deeltjes bevat, die door die snelle luchtbewegingen verplaatst worden, lopen daar sterke elektrische stromen. Die geven in het magneetveld van de aarde aanleiding tot induktiestromen, die wij weer als kleine regelmatige variaties in het aardmagneetveld zien.

De ionosfeer kaatst bepaalde radioseinen terug. De intensiteit van de echo ondergaat echter periodieke variaties. De verzwakking, *fading* genoemd, wordt veroorzaakt door veranderingen in het terugkaatsend vermogen van de ionosfeer, die het gevolg zijn van het over zender en ontvanger heen trekken van ionosferische onregelmatigheden (tot op zekere hoogte vergelijkbaar met wolken uit de troposfeer). Hoewel het niet zeker is, dat deze *drift*

identiek is met de ionosferische wind, kan men ze toch min of meer daarmee vergelijken.

In de ionosferische lagen verschijnen de meteoren. Men heeft verscheidene malen getracht kunstmatige meteoren te fabriceren. Zo steeg op 21 april 1961 een raket op van de NASA van Wallops Eiland, die bij haar terugkeer kleine stalen kogeltjes in de dampkring schoot. Deze zeventrapsraket werkte op vaste brandstof en werd onder 80° met de horizon gelanceerd. Na vijf minuten bereikte zij haar hoogste punt, nadat pas drie trappen hadden gewerkt. Dat was ook de bedoeling, want de drie andere werkten bij de daling om de stalen kogeltjes voldoende snelheid te geven. De zevende trap was een soort geweer, dat de kunstmatige meteoren afvuurde, die dan pas enigszins een snelheid hadden verkregen die met echte meteoren vergelijkbaar was. Zij werden waargenomen door geleerden van het Lincoln Laboratorium en Harvard.

Meer informaties krijgt men door kunstmatige meteoorsporen te maken en te fotograferen. We noemden reeds het ESRO-projekt op Sicilië. Dat was lang niet het eerste dergelijke projekt. Reeds vanaf White Sands Proving Grounds hadden de Amerikanen jarenlang met allerlei soorten raketten dit soort proeven uitgevoerd. Ook in de poolstreken zijn ze verricht. Ons land leverde op dit terrein in 1965 een belangrijke bijdrage. De NASA stelde vier Nike-Apache-raketten ter beschikking, die door de Koninklijke Nederlandse Marine naar Curaçao werden vervoerd en van daar per vrachtboot naar Paramaribo. Ook leverde de NASA een lanceerinstallatie in bruikleen. In de neuskegels der raketten werd in Europa natrium gedaan. De raketten werden afgevuurd vanaf een basis bij het vliegveld Coronie en vanuit drie verschillende waarnemingsposten gefotografeerd. Op 18 september 1965 vond de eerste lancering plaats. Bijna een kwartier lang was het spoor aan de avondhemel zichtbaar, terwijl het door de ionosferische stromingen werd vervormd (pl. IX). Ook de volgende lanceringen, één 's avonds en twee in de ochtend, verliepen naar wens. Het doel was de windsnelheden en de richting van de wind in de tropische ionosfeer te vergelijken met uitgebreide soortgelijke waarnemingen op hogere breedte.

Het schijnt, dat er in de ionosfeer verschillende soorten lagen voorkomen met turbulentie, gescheiden door een gebied, waarin

deze turbulentie ontbreekt. Ook bij Franse lanceringen in de Sahara in 1965 was dat al gekonstateerd en bleek, dat gebieden met turbulentie afgewisseld worden met lagen, waarin zij ontbreekt. De verklaring hiervan is nog niet gegeven, al zijn er wel theorieën.

Overzicht der meteorologische satellieten

jaar	*lanceerdatum*	*naam en no.*	*P* min	*i*	*H* km	*h* km
1960	1 april	Tiros 1	99	48°	760	700
	23 november	Tiros 2	98	49	745	610
1961	12 juli	Tiros 3	100	48	825	740
1962	8 februari	Tiros 4	100	48	845	710
	19 juni	Tiros 5	101	58	970	590
	18 september	Tiros 6	91	65	355	300
1963	19 juni	Tiros 7	97	58	660	615
	21 december	Tiros 8	99	58	695	765
1965	22 januari	Tiros 9	119	96	2580	710
	2 juli	Tiros 10	101	99	745	835
1964	28 augustus	Nimbus 1	98	99	940	425
1966	15 mei	Nimbus 2	108	100	1180	1100
1966	3 februari	Essa 1	100	98	845	705
	28 februari	Essa 2	114	101	1415	1360
	2 oktober	Essa 3	115	101	1493	1383

elfde hoofdstuk

pioniers in de ruimte

Yuri Gagarin opent de rij – Het projekt-Vostok – De eerste reis om de aarde in negentig minuten – Titov ging 17 keer rond – Het Mercury-projekt loopt van stapel – Proeven met chimpansees – Shepard verkende de ruimte – Een pronkstuk van de Amerikaanse industrie – MR-4 – De Atlas vervangt de Redstone – De aap Enos ging op proef – De historische tocht van John Glenn – Moeilijkheden met het hitteschild – Geheimzinnige vuurvliegjes – De verdere tochten met de Mercury's – Ook drinken is een probleem – Een geestelijke barrière voor de mens? – Nikolayev maakte 64 rondjes – Hoe de Russen landden – De eerste vrouw in de ruimte – Geen echte rendez-vous-tochten – De Voskhod had drie bemanningsleden – Leonov was de eerste ruimtewandelaar – Landing in de sneeuw – Het projekt-Gemini – Enteren in de ruimte – De eerste Gemini-vlucht – Ook White wandelde rond – Mislukt rendez-vous – Brandstofcellen en energie-problemen – Gemini 5 bleef zelfs 190 uur in de ruimte – Pech met de Gemini 6 – Twee Gemini's tegelijk in de ruimte – Nieuwe navigatie-methoden – De eerste entering volbracht – Gemini 8 leek een tol – Moeilijkheden met het ruimtepak van Cernan – Het licht van de nachthemel – Foto's van de sterren uit de Gemini 9 – Geen absorberende laag? – Gemini 10 maakte ultraviolette sterspektra – Conrad en Gordon bereikten 1367 km hoogte – Gordon bond ruimteschepen samen – Een moersleutel van een miljoen dollar – Een perfekt besluit met de Gemini 12 – Het eerste slachtoffer.

Lange reeksen proefnemingen op uitgebreide schaal hadden het aan een ieder reeds duidelijk gemaakt dat de tijd was aangebroken, dat de mens zelf zijn nieuwe vuurspuwende vervoermiddelen zou gaan bemannen om daarmee de aarde te verlaten en met reusachtige snelheid ver boven de dampkring voort te razen. De Russische Spoetniks waren als eerste uitgerust met kapsules, die, nadat ze voldoende vertraagd waren, met parachutes, op aarde konden landen. Alleen op die manier was het mogelijk op het vasteland veilig terug te keren; Rusland als reusachtige kontinentale mogendheid was vast besloten om op die manier zijn ruimtevaarders op eigen territorium te doen dalen.

Het was begrijpelijk, dat de Russen hun aanvankelijke voorsprong op ruimtevaartgebied ook op het terrein van de bemande ruimtevaart zouden uitbuiten. Binnen vier jaar nadat de eerste Spoetnik de wereld verraste, maakte majoor Yuri Gagarin de eerste reis per ruimteschip. In bijna 89 minuten maakte deze zevenentwintigjarige pionier de reis om de wereld. Even na zes uur in de vroege morgen van 12 april 1961 vertrok hij van de basis Baikonoer. Een kapsule van 4725 kg, de *Vostok* 1 (pl. XVII), uitgerust met twee televisiekamera's, vormde zijn voertuig, voorzien van een verzegelde kabine. De ruimtevaarder was ten overvloede gekleed in een geheel geïsoleerd ruimtepak. Tussen 180 en 325 km hoogte voerde zijn baan over de Grote Oceaan, ten zuiden van Zuid-Amerika langs en dwars over de Atlantische Oceaan, Noord-Afrika en Zuidoost-Europa terug naar zijn vaderland. De lancering van de eerste Russische astronaut veroorzaakte in de nog besneeuwde straten van Moskou een enorm enthousiasme. Tevoren was reeds aangekondigd, dat er een belangrijke gebeurtenis op til was. Chroesjtsjev, de toenmalige Russische partijsecretaris, feliciteerde Gagarin persoonlijk na zijn geslaagde landing met dit grote sukses.

Het met deze lancering begonnen projekt-Vostok ging nu in een snel tempo een vlotte ontwikkeling tegemoet. In augustus 1961 volgde de vlucht van Titov, die zeventien keer om de aarde vloog tussen 170 en 255 km hoogte. Schepen in de Atlantische en in de Grote Oceaan deden dienst als volgstation en kommunikatiebaken. Drie patrijspoorten gaven Titov een schitterend uitzicht op de aarde onder hem en op het heelal om hem heen. Twee keer zag hij de maansikkel, het ver verwijderde doel voor de komende jaren.

De bewondering van de gehele wereld vergezelde deze koene Russische pioniers. Hooggeplaatste personen roemden hun prestaties, ook in Amerika. Daar realiseerde men zich, dat de Sovjet-Unie nog steeds een kleine voorsprong had op dit gebied en met alle mogelijke middelen werd het Amerikaanse programma versneld. President Kennedy, die intussen de functie van Eisenhower had overgenomen, hield echter vast aan zijn standpunt, geen poging te ondernemen een Amerikaan in de ruimte te zenden voordat men vrijwel zeker kon zijn van een veilige terugkeer.

Uitgebreide veiligheidsmaatregelen moesten de astronauten gedurende hun gehele tocht zoveel mogelijk begeleiden. Reeds bij de start bestond er immers een kans dat de raket zou exploderen. Men ontwikkelde daarom een ontsnappingsmechanisme dat herhaalde malen werd beproefd. Boven op de kapsule, hoog boven op de top van de raket, zou een metalen toren worden geplaatst. Mocht er iets mis gaan bij de start of in de lage atmosfeer, dan ontbranden daarin drie raketten, die de kapsule met de toren zijwaarts wegdrijven, nadat zij al of niet automatisch losgemaakt is van de raket. Zo vermijdt de kapsule de gloeiende gasstraal uit de uitlaat van de raketmotor na een mislukte start. Dan gaat een parachute open die de kapsule langzaam laat dalen.

De problemen rondom de veilige terugkeer waren intussen voor de Amerikanen ook bijna opgelost. De vele kapsules van de Discoverers waren steeds in zee terechtgekomen, voorzover ze niet reeds in de lucht waren opgepikt, omdat Amerika voorzag, dat vanuit de USA gelanceerde ruimteschepen grotendeels over zee moesten vliegen. Voor een grote, de Oceanen beheersende mogendheid als de Amerikaanse was het ook geen probleem voldoende schepen paraat te hebben voor een landing op zee. Bovendien zou zo'n landing het risiko verminderen, als de parachutes eens zouden weigeren open te gaan. Het reeds ontwikkelde systeem kwam volledig te pas, toen de NASA op uitgebreide schaal begon te experimenteren met het *Mercury-projekt.*

Dit beoogde een ruimtevaarder om de aarde te laten draaien. De eerste experimenten werden uitgevoerd met de Redstone als lanceerraket. Terwijl de Russen hondjes als proefdieren gebruikten, bedienden de Amerikanen zich van zes chimpansees, die werden getraind om als eerste ruimtevaarders te fungeren. Korte vluchten met deze dieren zijn voorafgegaan aan de tochten van de mensen. Zo fungeerde bijvoorbeeld de aap Ham als proefobjekt bij de vlucht MR-2 op 31 januari 1961, die niet helemaal volgens plan verliep door enkele technische moeilijkheden. Desondanks werd Ham in goede konditie opgepikt uit zee.

Op 5 mei 1961 volgde dan eindelijk de eerste Amerikaan. Shepard bereikte een hoogte van 185 km in een perfekte ballistische vlucht. Slechts 15 minuten duurde die tocht, die hem ergens op de zuidelijke Atlantische Oceaan bracht, nadat hij daar een perfekte landing had uitgevoerd. De kapsule was met kleine

stuurraketjes draaibaar, waardoor het hitteschild bij de daling in de juiste stand kon worden gebracht. Die stuurraketjes werden automatisch geregeld, zodat de kabine gestabiliseerd was. De automatische piloot kon echter ook worden uitgeschakeld en dan kon de bestuurder zelf de regeling van de raketjes in de hand houden. Dat zou nog belangrijk blijken te zijn. Na de landing werd de plaats van de gelande kapsule aangegeven zowel door linten aluminiumband als door kleurstoffen, een rookpluim en knipperlichten. Dit ruimteschip was het resultaat van meer dan twee jaar industriële research van een groot aantal Amerikaanse firma's. De kapsule was ruim 2,5 m lang, 1,75 m in doorsnede en had de vorm van een afgeknotte kegel (pl. x). De wand van de kabine bestond uit twee zeer dunne laagjes titanium, een vrij kostbaar metaal. Om het te kunnen bewerken moesten speciale walsinstallaties gebouwd worden. Daarbuiten bestond de wand nog uit een soort zonnescherm van titaniumplaatjes, zorgvuldig geïsoleerd en bedoeld om de warmtestroom naar binnen toe te onderbreken. Een massief hitteschild van beryllium vormde de bodem.

Binnen enkele maanden volgde een tweede dergelijke tocht door Grissom op 21 juli met de MR-4. Ook die had een suksesvol verloop. De astronaut had de kapsule goed onder controle en kon haar door middel van de stuurraketjes in de juiste stand brengen. Bij deze vluchten werden ook retroraketten afgevuurd bij de daling. Hoewel dit eigenlijk niet nodig is, omdat bij een ballistische vlucht de kapsule automatisch terugvalt op de aarde, werden ze toch afgevuurd om hun werkwijze na te gaan en om de bestuurder ervaring te laten krijgen.

Om vluchten om de aarde te maken was de Redstone-raket niet krachtig genoeg. Daarom was er tijdens het Mercury-Redstone-projekt reeds gewerkt met de Atlas. Al op 9 september 1959 bracht een Atlas een kapsule omhoog, die weliswaar onbemand was, maar reeds allerlei technieken testte. Op 29 juli 1960 vond de eerste *Mercury-Atlas*-proef plaats (MA-1), die mislukte omdat de raket weigerde. Later, op 21 februari 1961, lukte het beter (MA-2), maar MA-3 op 25 april mislukte opnieuw. In de nazomer, op 13 september 1961, vond een vlucht met de MA-4 plaats, waarbij een automatisch gekontroleerde kapsule (dezelfde van 25 april, die in zee was teruggevonden) een volledige omwenteling

om de aarde maakte. Zij werd opgevist uit de Atlantische Oceaan; een nadere inspektie van de kabine toonde aan, dat zij waarschijnlijk had gelekt, want de ontsnapte hoeveelheid zuurstof was abnormaal hoog.

Hoe voorzichtig de Amerikanen te werk gingen bij hun plannen, blijkt uit de volgende vluchten. Ondanks de indrukwekkende reeks Russische suksessen werkten zij de geprojekteerde vluchten af en lieten niet overijld een bemand vaartuig starten. MA-5 volgde op 29 november 1961 met de chimpansee Enos aan boord, die tweemaal om de aarde vloog. Het werd eigenlijk te warm in de kabine en het waterstofperoxyde, bestemd voor de stabilisatieraketjes, werd veel te snel opgebruikt. Daarom werd de kapsule reeds na twee omwentelingen om de aarde teruggebracht in plaats van na drie, zoals was bedoeld. De kapsule kwam in zee neer en werd, met de aap er in, in goede konditie teruggevonden.

Nu was de tijd eindelijk rijp voor de bemande reis om de aarde en op 20 februari 1962 om 15^h47^m startte John Glenn voor zijn historische tocht. Miljoenen over de gehele wereld leefden mee met dit fantastische, in alle openbaarheid uitgevoerde experiment. Tussen 160 en 240 km hoogte vloog hij drie keer om de aarde. Elektronische rekenmachines volgden in een fabelachtig snel tempo de kunstmaan in zijn baan. In 88 minuten trok hij zijn ellips om de aarde en om 20^h20^m stelde Glenn de drie retroraketten in werking, die hem naar de aarde terugvoerden. Tijdens de tocht deden zich twee problemen voor. Het eerste ontstond, doordat een van de stabilisatieraketjes niet goed funktioneerde. De automatische besturing werkte daardoor niet goed en er werd te veel brandstof gebruikt. Glenn ging toen over op gedeeltelijke handbesturing en beperkte zo direkt het brandstofgebruik. De tweede moeilijkheid leek veel ernstiger. Een vals signaal, veroorzaakt door een fout in de gekompliceerde elektronische schakelschema's, gaf aan de kontrolebasis in Cape Canaveral een sein, waaruit zou volgen, dat de vergrendeling van het hitteschild zou zijn losgeraakt. Nu is zo'n hitteschild ook nog aan de kapsule verbonden door drie metalen stroken, die voordat de kapsule in de dampkring duikt, worden verwijderd. Dit gebeurt om te voorkomen, dat ze door de hitte smelten en de wegvliegende halfgesmolten gloeiende brokken de kabine treffen en be-

schadigen. Hoewel later bleek, dat het signaal vals was, kon men op het ogenblik van de vlucht geen risiko's nemen. Daarom besloot men Glenn de opdracht te geven de drie metalen stroken te laten zitten en ze niet, zoals aanvankelijk was bedoeld, te laten afwerpen wanneer hij aan de terugtocht begon. Nu zou het hitteschild in ieder geval lang genoeg blijven zitten om te kunnen funktioneren.

Zo werd gehandeld; Glenn was weliswaar verwonderd door zijn opdracht, maar keerde veilig naar de aarde terug. Daar gaf hij een indrukwekkend verslag van zijn vlucht. Grote delen van de aarde had hij niet kunnen bekijken, omdat ze in wolken gehuld waren. Australië was geheel in het donker, maar hij kon de lichten van Perth zien. Het meest indrukwekkend waren de zonsondergangen. Dat is een prachtig kleurenspel en de kim blijft vier à vijf minuten, nadat de zon verdwenen is, nog prachtig verlicht. Bij zonsopkomst werd Glenn daarentegen door een groot aantal lichtende sterretjes verrast, lichtgevende deeltjes, die als vuurvliegjes langs zijn patrijspoort snelden.

Enkele maanden later, op 24 mei 1962, volgde Carpenter met de MA-7, die ook drie rondjes om de aarde draaide en daarmee aantoonde, dat de Amerikanen nu de Russen hadden geëvenaard in hun prestaties.

In het najaar maakte Schirra met de Sigma 7 de MA-8 vlucht. Deze keer landde de ruimtevaarder in de Grote Oceaan, omdat hij zesmaal om de aarde was gegaan, waardoor deze een stuk verder onder de baan van de kunstmaan was voortgedraaid. De landing vond plaats op nog geen 2 km afstand van de vooraf vastgestelde positie. Hier lag het vliegdekschip 'Kearsage' te wachten. Reeds twee minuten na de landing waren vijf helikopters ter plaatse en na iets meer dan tien minuten was Schirra aan boord van het schip. Zijn reis was zeer vlot verlopen, al had hij het kort na de eerste omwenteling erg warm gekregen, omdat de temperatuur in de kapsule ongewoon hoog was gestegen. Evenals bij de beide vorige vluchten werd ook nu weer een aantal experimenten uitgevoerd. In Australië en in Zuid-Afrika werden zeer sterke lichten van 3000000 kaars ontstoken, die de astronaut moest trachten waar te nemen. Voorts maakte hij filmopnamen van landschappen op aarde onder hem en werd de bescherming tegen straling en de warmte-isolatie van allerlei materialen gemeten.

De laatste vlucht van het Mercury-projekt, met de MA-9, startte op 15 mei 1963. De zesendertigjarige Cooper vertrok een dag later dan was bedoeld, nadat hij op 14 mei zes uur in de kapsule had gezeten. Die kon toen niet vertrekken, omdat de radar op de Bermuda's weigerde. Slechts negentig sekonden na de start slingerde de kapsule enorm, maar dit hield gelukkig op; nadat de tweede trap was uitgewerkt moest Cooper de kapsule met handbesturing in de juiste stand brengen. Het kontrolesysteem van de temperatuur in zijn ruimtepak bleek defekt. Het was nodig dit om het kwartier bij te stellen, zodat het voor de astronaut onmogelijk was enige tijd achter elkaar rustig te slapen. De slaapperioden van acht uur, die op het programma stonden, vervielen dan ook en werden door hazeslaapjes vervangen. Tijdens de tweede ronde moest Cooper een rubberslang zover mogelijk uitrekken, terwijl zijn pols- en hartslag voortdurend geregistreerd werden om het prestatievermogen van een mens in zijn omstandigheden na te gaan. Bij de derde ronde moest hij 15 minuten voor zonsondergang met behulp van een veer een bol wegschieten, die was uitgerust met twee sterke xenonflitsers. Deze flitsten een keer per sekonde aan. Gedurende drie uur moest hij van die 15 cm grote bol zoveel mogelijk foto's maken. Aanvankelijk was de bol slecht te zien, evenals de beide lichten die aan weerskanten zaten. Bij de vierde en vijfde ronde echter was ze in de aardschaduw heel goed te zien als een heldere ster.

Drinken was niet gemakkelijk in de kapsule. Met een drukbal kreeg Cooper een veel te sterke straal. Ook het opzuigen met een rietje bleek niet ideaal. Door een lekke klep van de watervoorziening kwam er met het water lucht in de slang en dat gaf hem een zeer onaangenaam gevoel in zijn keel en borst (een gewichtloze boer!). Er liep steeds meer lekwater in de kapsule en gedurende de laatste ronde zweefden er overal waterdruppels rond, die echter ongeschikt waren om te drinken. Tenslotte moest hij zijn reservewaterrantsoen aanspreken.

Cooper merkte de xenonflitser bij Bloemfontein duidelijk op, maar de lichtjes van de stad verschaften hem een nog veel beter oriëntatiesysteem. Tijdens de zeventiende en achttiende ronde maakte Cooper wolkenfoto's boven Dallas en Houston. Beide steden waren duidelijk zichtbaar. Miami Beach tekende zich wit af. Ook de vuurvliegjes, die Glenn verrasten, zag Cooper duide-

lijk. Zij bleken te ontstaan door vochtdeeltjes van waterstofperoxyde-damp uit de straalbuisjes van de stuurraketjes.

Cooper zag een boot op de Nijl en ook af en toe een trein. Door slierten rook te volgen kon hij soms zelfs aparte huizen onderscheiden. Tijdens zijn laatste ronde konstateerde hij, dat hij zich kon oriënteren op de door de maan verlichte steden in China. Tijdens deze laatste tocht langs de nachtkant van de aarde moest de kapsule in de juiste stand worden geplaatst voor de terugkeer naar beneden en voor het ontsteken van de retroraketten. Deze, drie in totaal, moesten automatisch ontbranden, 5 sekonden na elkaar. Na een suksesvolle reis van 22 rondjes om de aarde, landde de astronaut aan zijn rood-witte nylon parachute in de Grote Oceaan. Bij de landing, slechts 3 km van het beoogde doel, trad nog een flinke schok op. Cooper liet zich met kapsule en al aan boord van de Kearsage hijsen; hij voelde zich duizelig en raakte even bewusteloos toen hij zijn kabine had verlaten.

Dit deed vrezen, dat een langdurige toestand van gewichtloosheid vreemde invloeden zou kunnen hebben op het menselijk lichaam. Ook de Russen maakten zich zorgen over deze geestelijke barrière voor een astronaut. Zij hadden hun voorsprong op de Amerikanen nog niet laten verlopen. Bijna een jaar voordat Cooper zijn 22 rondjes draaide, vertrok de *Vostok* 3 op 11 augustus 1962. Majoor Nikolayev draaide daarmee maar liefst 64 keer om de aarde tussen 180 en 250 km hoogte. Terwijl hij met die reis bezig was, 88 minuten per omloop, startte de volgende dag de *Vostok* 4, bemand door Popovich, die 48 keer om de aarde vloog tussen 180 en 255 km hoogte. Hoewel aanvankelijk de beide astronauten geen last van hun langdurig verblijf in de ruimte ondervonden, werd op de Cospar-conferentie in 1964 toegegeven, dat ze zeven tot tien dagen na hun vlucht last gekregen hadden van storingen in de hartslag en in de bloedvaten, terwijl ook het centrale zenuwstelsel was aangedaan.

De landing na hun vlucht vond plaats in Karaganda in Kazakhstan; nadat de retroraketten waren uitgewerkt, lieten de astronauten zich met hun schietstoel uit de kabine schieten. Ze daalden per parachute, terwijl de kapsules zelf automatisch en onbeschadigd landden. Zo'n kapsule was een bolvormig afgeplatte cilinder met een diameter van 2 m en een lengte van 7 m, die geheel kompleet meer dan 4,5 ton woog. Met de laatste trap

van de raket samen werd 6 ton in een baan om de aarde gebracht!

Het tijdstip van de lancering van de Vostok 4 was zo gekozen, dat de beide ruimtevaarders vlak bij elkaar konden komen. Een nauwkeurige studie achteraf van de beide banen liet zien, dat de minimale onderlinge afstand slechts 6,5 km is geweest. Beide ruimteschepen stonden via de radio voortdurend met elkaar in verbinding. Uitgebreide reeksen waarnemingen, foto's en films werden ook tijdens deze tochten vervaardigd.

Vostok 5 vertrok op 14 juni 1963 vanaf Baikonoer. Deze kapsule was bemand door Bykovsky, een achtentwintigjarige luitenant-kolonel van de luchtmacht. Tussen 175 en 220 km beschreef hij 81 omwentelingen om de aarde. Bij een televisie-uitzending uit zijn kabine liet hij zien, hoe een stuk papier gewichtloos ronddwarrelde en hoe water uit een fles als bolvormige druppels rondzweefde. Twee dagen na zijn start werd de *Vostok* 6 omhoog geschoten, bemand door de eerste vrouwelijke astronaut: Valentina Teresjkova. Zij draaide 48 rondjes en was tijdens haar eerste omloop slechts 5 km van Bykovsky verwijderd. In hoeverre deze beide, gelijktijdige, tochten voorbereidingen voor 'rendez-vous'-operaties zijn geweest valt niet te beoordelen. Beide vluchten eindigden met een veilige landing ten noorden van Karaganda, 500 km ten noordwesten van Baikonoer.

Meer dan een jaar lang onderbraken de Russen hun bemande ruimtereizen. Pas op 12 oktober 1964 vertrok de *Voskhod* 1 van Baikonoer. Deze Voskhod ('zonsopgang') was bemand door een team van drie astronauten, piloot kolonel Komarov, natuurkundige Yegorov en de ervaren vliegtuigkonstrukteur Feoktistov. Ze brachten iets meer dan 24 uur in de ruimte door. Opnieuw hadden de Russen een belangrijke voorsprong op de Amerikanen. Dezen hadden intussen hun projekt-Mercury afgesloten en waren bezig met de voorbereidingen voor het *Gemini-projekt*, bedoeld om twee man tegelijkertijd in een ruimteschip om de aarde te laten draaien. Pas veel later zouden zij aan een driemanskapsule beginnen. De Russen waren echter al zover en de Voskhod volbracht 16 omwentelingen tussen 180 en 410 km hoogte. De kabine was bekleed met een zachte sponsachtige synthetische stof, waarschijnlijk een soort schuimrubber. Zij kon drijven wanneer ze onverhoeds op zee zou moeten landen. Bovendien was ze voorzien van een dubbel stel retroraketten, waarvan maar één stel

werd gebruikt. Het bemanningskompartiment werd bij de landing losgeschoten en landde per parachute op het terrein van een staatsboerderij 550 km ten noorden van Baikonoer.

De kapsule was niet alleen van binnen met een televisiecamera uitgerust, maar ook aan de buitenkant was een camera gemonteerd. Deze nam tijdens de daling in de dichtere luchtlagen de veranderingen van het hitteschild waar. Naast de gewone gasraketjes om de kapsule te sturen, was ook een ionenmotor gemonteerd. De astronauten voerden allerlei proeven uit, waaronder een poging om de kabine te sturen met behulp van de sterren, met een sextant. Zij zagen een prachtig poollicht, het eerste dat door ruimtevaarders vanuit een kapsule werd gezien.

In het volgende jaar, op 18 maart 1965, volgde de *Voskhod* 2. Deze keer bestond de bemanning uit slechts twee astronauten, Leonov en Belyayev. Opnieuw slaagden de Russen erin een primeur te veroveren van een groot sukses. Terwijl de kapsule zich voortspoedde tussen 150 en 500 km hoogte, opende Leonov negentig minuten na de lancering het luik van de kabine en verliet hij zijn kleine verblijf. Verbonden via een 5 m lange kabel met het betrekkelijk veilige ruimteschip, trotseerde hij de gevaren van de voor de mens zo ongastvrije wereldruimte en zweefde vrij rond. Gedurende 20 minuten was hij zelf een klein hemellichaam geworden, dat met een weergaloos grote snelheid zijn baan om de aarde beschreef. De kabel diende als levensader, die de astronaut van zuurstof voorzag, koolzuur afvoerde en het kontakt onderhield met zijn metgezel in de kapsule. Na 26 uur in de ruimte te hebben doorgebracht, landden de beide ruimtereizigers bij het begin van de achttiende omwenteling. Zij kwamen 800 km voorbij het beoogde doel terecht. Zij landden niet in de steppen, maar op de met sneeuw bedekte beboste heuvels van de Oeral ten noorden van Perm. De eerste landing in de sneeuw verliep goed. Moeilijkheden deden zich voor tijdens de twaalfde of dertiende omloop. Er gaan geruchten, dat deze tot gevolg hadden dat de lancering van een tweede bemande kabine werd uitgesteld, hoewel de aftelling op Baikonoer reeds was begonnen. Of dit bericht juist is valt niet na te gaan. Ook weten we niet zeker of deze moeilijkheden samenhangen met het feit, dat de astronauten met handbesturing landden.

Intussen was in Amerika het projekt-Gemini tot uitvoering

gekomen. Na twee geslaagde onbemande proefvluchten op 8 april 1964 en op 19 januari 1965 was het ruimteschip voldoende beproefd. Met een Titan 2-draagraket werd de kapsule omhooggebracht met evenveel ballast als de bemanning zou wegen. Enkele tekortkomingen, die voor de dag waren gekomen, waren verholpen. Een van de belangrijkste doeleinden van dit projekt was het ontwikkelen en het perfektioneren van de 'rendez-vous' en de entertechniek, bestaande uit het samenbrengen en aaneenvoegen van twee ruimteschepen. Alleen op die manier lijkt het praktisch mogelijk om een bemande reis naar de maan te maken. De Gemini-kapsule lijkt op die van de Mercury (pl. x), maar ze is tweemaal zo zwaar (ca. 2000 kg). Het is een echt ruimteschip, dat voorzien is van zulke sterke hulpraketjes dat het zijn baan kan wijzigen. De kapsule is bijna 6 m lang, 3,5 m in doorsnede en evenals de Mercury-kapsule vervaardigd door McDonnell Aircraft Corp. De bestuurders zitten naast elkaar in afzonderlijke kompartimenten, die hermetisch van de rest van de kapsule kunnen worden afgesloten. Beide afdelingen zijn voorzien van scharnierende luiken, die naar buiten toe kunnen openslaan. Mocht er iets misgaan, dan kunnen de astronauten zich in hun schietstoelen naar buiten laten schieten en aan automatisch opengaande parachutes dalen.

De rendez-vous-operaties moeten worden uitgevoerd door een Gemini- en een Agena-raket. Deze laatste wordt voor het vertrek van de Gemini gelanceerd en in een baan om de aarde gebracht. De Gemini moet binnen vier uur daarna vertrekken en in een elliptische baan gebracht worden, die raakt aan de cirkelbaan van de Agena. Dan kan de Gemini de Agena inhalen en enteren. De bedoeling was de Agena te voorzien van fel flitslicht, dat op grote afstand in de ruimte zou kunnen worden waargenomen, zoals Cooper reeds vaststelde. Ook het gebruik van radar werd overwogen. De astronauten naderen de Agena van achteren en regelen met behulp van hun stuurraketjes de snelheid en de richting. Gaat alles goed, dan schuift de Gemini met haar kegelvormige neus in de Agena en worden de beide ruimteschepen automatisch aan elkaar gekoppeld. De motor van de Agena kan opnieuw worden gestart en zo beschikken de ruimtevaarders over een verse nieuwe krachtbron. De eerste stap naar het door Von Braun geopperde ruimtestation is dan verwezen-

lijkt. Alleen zo zal de reis naar de maan mogelijk zijn.
Op 23 maart 1965 werd de eerste Gemini-vlucht uitgevoerd door Grissom en Young. Zij maakten met de *Gemini* 3 een drietal omwentelingen om de aarde in 293 minuten. Vooral het manoeuvreren met hun kapsule vormde een belangrijk deel van hun taak. Tijdens de vlucht werd de baan enkele keren in hoogte en richting gewijzigd en ten slotte zelfs op slechts 84 km hoogte gebracht. Nadat de remraketten in werking waren gesteld, daalde de kapsule en kwam 100 km van haar doel in zee. Dat was tamelijk ver af en de astronauten moesten dan ook meer dan een uur wachten, voordat zij uit het water werden opgevist. Beiden waren zeeziek en werden snel per helikopter naar de Intrepid gevlogen.

Een paar maanden later (3 juni 1965) volgde de *Gemini* 4, bemand door White en Mac Divitt. Dit was de vierde Gemini, maar de tweede bemande tocht. De Rus Leonov had enkele maanden tevoren zijn kabine verlaten en de Amerikanen wilden niet achterblijven. White stapte uit de kapsule (pl. XI) en twintig minuten danste hij rond, door een 8 m lange kabel met de Gemini verbonden. In zijn 14 kg zwaar ruimtepak, bestaande uit 21 verschillende lagen, scheen hij zelfs tegen meteoroïden beschermd. Met een geweer in zijn hand, waaruit een kleine raketmotor een gasstraal kon spuwen, moest hij trachten in zijn gewichtloze toestand te manoeuvreren in de ruimte. Dat viel niet mee en er waren ook moeilijkheden toen hij weer in de kapsule trachtte te komen. Overigens was het een tocht met meer problemen. Het was de bedoeling de kapsule dicht bij haar Titandraagraket te brengen tijdens de tweede omwenteling boven Amerika. Daar de beide astronauten hun kabine niet tijdig luchtledig konden krijgen en het luik openen, moest dit rendezvous tot de derde omloop worden uitgesteld. De draagraket was nu echter reeds 52 km ver weg en bevond zich 8 km lager dan de Gemini. Ondanks hardnekkige pogingen konden de beide ruimtevaarders niet dicht genoeg naderen en door brandstofverlies waren ze tenslotte gedwongen hun pogingen te staken. Op de derde dag van de vlucht weigerde de computer in de Gemini. Daarom zag men er van af de kapsule in een lage baan op 80 km te brengen; de terugkeer werd van de grond af gekontroleerd. De daling verliep steiler dan bij de Gemini 3, zodat de beide ruimtereizigers aan sterkere vertragingen werden onderworpen.

Ook werd een aantal wetenschappelijke resultaten bereikt. Onderzocht werd of de Gemini een elektrostatische lading kreeg. De dichtheid van elektronen en protonen in de buurt van de kapsule werd gemeten in de Zuid-Atlantische geomagnetische anomalie. Dit is een gebied waar de Van Allen-gordels extra dicht bij het aardoppervlak liggen. Tengevolge van afwijkingen in het magneetveld van de aarde zijn er namelijk afwijkingen van het, reeds eerder besproken, ideale schematische model van deze gordels. De rand van de aardbol, de voor de astronauten zichtbare kim, werd in rood en blauw licht gefotografeerd. Men hoopt daaruit na te gaan hoeveel dat in hoogte scheelt en dat kan belangrijk zijn, omdat men hierop navigatiesystemen van kunstmanen hoopt te baseren.

Na een uitstel van twee dagen door technische moeilijkheden werd de *Gemini* 5 op 21 augustus 1965 gelanceerd. De bemanning bestond uit Cooper en Conrad Jr, die meer dan 190 uur in hun ruimteschip doorbrachten. Bij het hoogste punt van de baan (340 km) ontstak Cooper een raketmotor met 45 kg stuwkracht, die de perigeumhoogte met 10 km deed toenemen. Ook bij deze vlucht deden zich moeilijkheden voor en wel voornamelijk met de brandstofcellen.

Aanvankelijk maakte men bij kunstmanen voor de stroomvoorziening gebruik van batterijen. Daar deze slechts een beperkt vermogen kunnen leveren en tamelijk veel wegen, werden ten behoeve van de ruimtevaart door diverse industrieën speciale sterke batterijen ontworpen met een zo klein mogelijk gewicht. Onnodig te zeggen, dat wij daar allen bij vele andere toepassingen nu ook van profiteren. Ook deze voldeden op den duur niet, omdat ze toch na een te korte tijd ontladen zijn. Spoedig ging men dan ook over op zonnecellen, vaak in kombinatie met batterijen. Zo'n cel is een klein kamertje, waarin het door een venster invallende zonlicht een uiterst zwak stroompje opwekt. Beschikt men over genoeg cellen, dan kan men door ze te kombineren een voldoende vermogen krijgen. Veel cellen gingen in de eerste jaren stuk tengevolge van de in de ruimte rondzwervende energierijke geladen deeltjes. Deze drongen in de cellen en beschadigden ze. Weliswaar trachtte men de cellen met speciale vensters tegen al te energierijke straling te beschermen, maar hoewel er wel verbeteringen tot stand kwamen, bleven de zonnecellen slechts be-

perkt houdbaar. Door hun grote aantal zijn ze echter een uitmuntende energiebron, die in ieder geval veel langer bruikbaar is dan batterijen. Ze werken echter alleen als er zonlicht op valt. Als een kunstmaan een baan om de aarde beschrijft, bevindt zij zich gedurende bijna de helft van haar tocht in het duister. Bovendien moeten zonnecellen zoveel mogelijk op de zon worden gericht en dat vereist speciale oriëntatie van de satelliet of van een deel ervan. Vooral voor bemande ruimtetochten is dat bij reizen om de aarde lastig en daarom zocht men naar andere energiebronnen. Zo'n derde mogelijkheid bieden speciale brandstofcellen. Die bestaan uit een ruimte, de cel, en een aantal reservoirs met de nodige leidingen en hulpmiddelen. In een der reservoirs, een dubbelwandige fles, bevindt zich zuurstof in gasvormige toestand. Een verwarmingsapparaat kan de zuurstof verwarmen, waardoor de druk toeneemt. Het verwarmde gas stroomt dan naar de cel, waarin het vermengd wordt met waterstof. De druk moet een zeer bepaalde waarde hebben, opdat de met fijne membranen uitgeruste cel goed kan funktioneren. Uit de zuurstof en waterstof wordt knalgas gevormd, dat omgezet wordt in water. Daarbij komen warmte en energie vrij. Dit soort cellen is in allerlei vorm en met verschillende chemische reakties ontwikkeld. Voorlopig is zo'n brandstofcel beter bruikbaar dan een kernreaktor, die óf te zwaar is, óf te veel stralingsverlies oplevert.

Tijdens de vlucht met de Gemini weigerde de verwarming in de zuurstoffles, de druk in de fles daalde en de zuurstof werd gedeeltelijk vloeibaar. Tijdens het verdere verloop van de vlucht liep de temperatuur in de kapsule echter zoveel op, dat er toch nog vrij regelmatig voldoende zuurstofgas in de brandstofcel stroomde. De werking van het apparaat was natuurlijk niet bepaald betrouwbaar en daarom werd de vlucht van dag tot dag voortgezet, terwijl niet-essentiële stroomverbruikers waren afgezet. Voorzichtig gingen de astronauten series proeven uitvoeren met de nodige reserve wat betreft het stroomverbruik. Zij fotografeerden eerst met een gewone kamera en later met behulp van een 200 mm telelens de maan, de wolken, het zodiakale licht en het afvuren van twee kleine projektielen. Zij brachten de kapsule naar een denkbeeldige raket toe, die ze zouden moeten enteren; deze operatie werd in drie etappen, zeer precies, vol-

bracht. Conrad trachtte bepaalde op de grond aangebrachte tekens te ontcijferen. Op de vijfde dag weigerde de kapsule in de juiste stand te blijven en begon te tuimelen. De astronauten moesten opnieuw hun stroomverbruik tijdelijk beperken. Cooper repareerde een kortsluiting, waardoor een waarschuwingslampje was uitgevallen, en herplaatste een pakking in een bloeddrukmeetapparaat op zijn been. Op 29 augustus landden zij na een reis, die 70 uur langer geduurd had dan die van de Rus Bykovsky. Voor Cooper was het bovendien zijn tweede tocht.

Op 25 oktober 1965 werd een Agena gelanceerd om als rendez-vous-raket te dienen voor de *Gemini* 6. Bij de lancering sprong de raket uit elkaar en daardoor moest de lancering van de Gemini worden uitgesteld. Intussen werd op de lanceerbasis de *Gemini* 7 klaargemaakt, terwijl de kapsule van 6 gerepareerd werd. Op 4 december kon men de Gemini 7 lanceren, bemand door Borman en Lovell. Bij de start was lanceerbasis 19 weinig beschadigd en daarom kon men met grote spoed beginnen met het monteren van de Gemini 6 op dezelfde plaats. Op 12 december was alles klaar voor de start. Schirra en Stafford zaten in hun kabine en het aftellen begon. Reeds was de stuwraket ontbrand, toen twee sekonden voor het ogenblik nul de motor plotseling zweeg, omdat een elektrische verbinding was uitgevallen. Een computer schakelt in zo'n geval direkt de motoren uit. De astronauten bewaarden hun kalmte en besloten geen gebruik te maken van het ontsnappingssysteem, waarmee ze zich in geval van nood uit de kapsule konden schieten. Zij moesten anderhalf uur wachten tot ze verlost werden, maar de kapsule was onbeschadigd.

Bij hernieuwde controle vonden de technici ook nog een dopje, dat per ongeluk op een brandstoftank was blijven zitten; dit zou de toevoer voldoende hebben geremd om de poging te doen mislukken. Eindelijk, op 15 december, slaagde de start en zes uur later ontmoetten de Gemini 6 en de Gemini 7 elkaar boven de Grote Oceaan, want de 7 was nog steeds rondjes om de aarde aan het draaien. Ze bleven enkele uren minder dan 30 m uit elkaar, 6 cirkelde om 7 en nam films en foto's (pl. XII). Toen trokken ze 40 à 75 km uiteen en de astronauten konden slapen. Als eerste keerde de Gemini 6 terug op 16 december, later de Gemini 7 op

18 december. Beide landden bij het vliegtuigmoederschip Wasp.

Om de navigatie te verbeteren moesten de astronauten van de Gemini 7 een lichtstraal van de grond af identificeren en daarna hun eigen laser op het lichtpunt richten. Zou dit gelukken, dan zou men lichtsignalen als kommunikatie kunnen gebruiken tijdens de daling van een ruimteschip. Tijdens het passeren van de luchtlagen tussen 120 en 40 km hoogte valt tijdelijk de radioverbinding uit tengevolge van de geïoniseerde laag, die om het ruimteschip ontstaat. Het bleek echter dat de snelheid van een ruimteschip te groot was, zodat de tijd onvoldoende was voor het seinen van lichtsignalen.

Om de juiste koers van de kapsule te vinden namen de astronauten heldere sterren waar en legden het ogenblik vast, waarop deze door de aarde bedekt werden. Met een in de hand gehouden foto-elektrische fotometer volgden ze de ster en drukten een knop in op het ogenblik, waarop de helderheid tot 50 procent was verminderd en nog eens toen de ster was verdwenen.

In 1966 werd het projekt-Gemini voltooid. Op 16 maart startten Armstrong en Scott met de *Gemini* 8. De Agena-enterraket was nu volgens plan van tevoren gelanceerd en de astronauten slaagden er in de kabine aan de raket te koppelen. De eerste echte rendez-vous was volbracht. Voor de eerste keer hadden de Amerikanen iets volbracht wat de Russen nog niet hadden klaargespeeld. De vreugde duurde niet lang, want kortsluiting zette een aandrijfraket met 11 kg stuwkracht in werking, met als gevolg dat beide aan elkaar gekoppelde ruimteschepen begonnen rond te draaien met een vrij grote snelheid. Ze maakten een omwenteling per sekonde en nadat de ruimtevaarders hun kapsule losgekoppeld hadden begonnen ze nog sneller rond te tollen. Pas met behulp van het stabilisatiesysteem, dat eigenlijk voor de terugkeer in de dampkring en naar de aarde bedoeld was, konden ze de kabine tot rust brengen. Bijna alle brandstof was daardoor opgemaakt en men moest onmiddellijk landen. De Agena werd op kommando vanaf de grond tot rust gebracht; haar motor werd weer afgevuurd zodat ze in een hogere baan kwam en later weer gebruikt kon worden.

Bij de volgende Gemini-vlucht, met de *Gemini* 9, traden opnieuw moeilijkheden op. Op 3 juni vertrokken Stafford en Cernan; op 17 mei was de lancering uitgesteld, omdat de Agena niet

in haar baan was gekomen en op 2 juni opnieuw wegens technische moeilijkheden met de Gemini zelf. De Agena was intussen gelanceerd, maar de neuskegel, die het koppelingsmechanisme beschermde bij de start en de tocht door de lagere dampkring, weigerde los te gaan. Toen de astronauten aan hun rendez-vous begonnen, bleek dat ze niet konden koppelen door deze neuskegel, die met zijn twee open helften aan de Agena vastzat en die op de geopende bek van een reusachtige krokodil leek. Cernan verliet de kabine en maakte een ruimtewandeling van twee uur. Het vizier van zijn helm besloeg aan de binnenkant en er waren moeilijkheden met de verbinding tussen hem en de kapsule. Daardoor moest hij terugkeren, zonder dat hij al zijn opdrachten had kunnen uitvoeren. Op 6 juni keerden Cernan en Stafford terug, na 44 omwentelingen om de aarde. De landing was een der meest geslaagde onderdelen van de vlucht, ongeveer 800 m van het beoogde doel.

Reeds enkele jaren houden de astronomen zich bezig met het selekteren van verschillende lichtschijnsels, die bijdragen tot de natuurlijke verlichting van de nachtelijke hemel in nachten zonder maneschijn. Zelfs in een zeer donkere onbewolkte nacht is het niet volkomen donker. Behalve de voor het blote oog zichtbare sterren en planeten verlichten allerlei andere schijnsels de hemel. De talloze zwakke, voor het ongewapende oog onzichtbare sterren en nevels veroorzaken een zwak diffuus licht. Daarnaast verlicht de zon kleine stofdeeltjes in de wereldruimte ver buiten de aarde, die zich grotendeels in het vlak van de aardbaan bevinden. Een groot gedeelte daarvan bevindt zich dichter bij de aarde dan bij de zon; onder gunstige omstandigheden ziet men ze als een piramide van wazig licht tegen de horizon in de morgen- of avondschemering. Dit heet het *zodiakale licht* en is voor ons West-Europeanen een buitengewoon moeilijk waarneembaar hemelverschijnsel. Ook buiten de baan van de aarde bevinden zich nog wel dergelijke stofjes en men kan ze waarnemen als de *Gegenschein.* Dit is de gangbare naam voor een nog veel lastiger waarneembaar, vaag wolkachtig lichtschijnsel, dat men aan de nachtelijke hemel tegenover de zon in de ekliptika moet zoeken. Zo dragen deze schijnsels hun steentje bij tot het licht van de nachtelijke hemel.

Reeds bij de vlucht met de Gemini 5 trachtten Cooper en

Conrad die schijnsels zowel aan de horizon als tegenover de zon (dus de Gegenschein) te fotograferen. Bij de vlucht met de Gemini 9 verkregen Stafford en Cernan 18 schitterende opnamen (pl. XII). Zij werkten met een *f*/1 kamera op Tri-X-film en hoewel het haast volle maan was, kon men het zodiakale licht duidelijk zien afsteken tegen de door de maan verlichte aarde. Cernan kon de foto niet vanuit het open luik maken, omdat hij de kamera niet stabiel genoeg kon vasthouden. De opnamen werden van binnen uit de kapsule door het venster gemaakt. Iedere opname duurde een halve minuut en in die tijd verplaatsten zich de sterren een beetje. Tijdens een der opnamen trad de heldere ster bêta van de Grote Hond de nachthemel-lichtlaag binnen en verzwakte minder dan $0,^{m}1$ door de extinktie. Het licht van de ster wordt minder dan 0,15 procent verzwakt tot op 80 km hoogte. Link voorspelde uit waarnemingen van de helderheid van maansverduisteringen, dat er op hoogten tussen 90 en 100 km een stoflaag in de dampkring zou bestaan, die het doorvallende licht met 5 procent zou verzwakken. Die laag bestaat dus blijkbaar niet of ze ligt lager.

Op grote hoogte zijn de sterren ook overdag zichtbaar; gedurende Cernans ruimtewandeling zag Stafford door het venster van de kabine sterren tot de derde grootte in het gebied van de hemel tegenover de zon.

Op 18 juli 1966 volgde de vlucht van de *Gemini* 10, bemand door Young en Collins. Zij vormden een duo dat een spektakulaire reis met een bijzonder rijke buit aan resultaten volbracht. Het koppelen met de Agena verliep uitstekend en door de raketmotor van de Agena opnieuw te ontsteken slaagden de astronauten er in hun baan drastisch te wijzigen. Zij kwamen op de nog nooit tevoren door mensen bereikte hoogte van 764 km en brachten daarmee het hoogterekord stevig in Amerikaanse handen. Collins maakte een ruimtewandeling van 27 minuten, waarin hij enige opdrachten vervulde. Aan zijn ruimtepak waren verbeteringen aangebracht om het beslaan van zijn vizier tegen te gaan. Vermoeidheid dwong hem zijn programma te beperken en bij zijn haastige terugkeer in de kapsule raakte hij zijn kostbare kamera kwijt, waarmee hij hemel en aarde had gefotografeerd.

Een van de belangrijkste resultaten van deze vlucht bestond

uit het fotograferen door het geopende luik op 19 juli gedurende 20 minuten van 22 *ultraviolette sterspektra* aan de zuidelijke melkweg. Met een 70 mm kamera, voorzien van een lens, die ultraviolet licht doorliet tussen 2200 en 4000 Å en met een rooster om het licht in kleuren te splitsen, verkregen zij spektra van enkele heldere sterren. Deze opnamen moesten bij de volgende Gemini-vlucht worden voortgezet en uitgebreid en later bij het Apollo-projekt op grote schaal verricht worden. De opnamen duurden 10 tot 60 sekonden; de kamera is vast bevestigd, maar de kapsule moet tijdens de opnamen worden gestabiliseerd. Door brandstofgebrek was dat niet mogelijk en daarom besloot men opnamen te maken in stervelden, die in de buurt van de pool van de baan lagen. Bij vergissing werd de kamera 17° te veel gedraaid en daardoor werd een gebied aan de zuidelijke hemel tussen bêta Crucis en gamma Velorum opgenomen. De verplaatsing van de kamera was ongelukkigerwijze juist in de richting van de dispersie en dat veroorzaakte zo'n groot verlies in oplossend vermogen, dat de spektra geen lijnen vertonen. Men zal zich moeten beperken tot het meten van het verloop van de helderheid langs het spektrum en daaruit kunnen de astronomen de relatie tussen energie en golflengte in het sterspektrum afleiden.

In september vond de vlucht met de *Gemini* 11 plaats door Conrad en Gordon. Het enteren verliep ook nu perfekt en werd voor de eerste keer met behulp van een computer aan boord van de Gemini zelf uitgevoerd. Verscheidene malen werd de Agena aan- en afgekoppeld en de ruimtevaarders kwamen met hun aangehechte motor nog hoger dan Young en Collins, namelijk tot 1367 km. Van daaruit hadden zij een fantastisch uitzicht op onze planeet. De Agena en de Gemini werden later ook door een kabel verbonden en vlogen in formatie door de ruimte. Er werd niet geprobeerd beide verbonden ruimteschepen in snelle ronddraaiing om een gemeenschappelijk zwaartepunt te brengen om daardoor een centrifugale kracht op te wekken die als kunstmatige zwaartekracht zou kunnen fungeren. Er waren wel plannen in die richting geweest. De ruimtewandeling bleek echter weer een te zware opgave, want reeds na 16 minuten moest Conrad zijn tocht afbreken, terwijl het zweet over zijn voorhoofd stroomde en zijn rechteroog volkomen verblind was. Hij was geheel uitgeput. Wel was het hem gelukt de 30 m lange kabel aan

de Agena vast te maken, waardoor het in formatie vliegen mogelijk werd, maar nadat hij enkele kleinere werkzaamheden had verricht, was hij doodop. Zijn kostbare moersleutel, die meer dan een miljoen had gekost, had hij niet eens kunnen beproeven.

Op 11 november 1966 werd het projekt-Gemini afgesloten door de tocht van de *Gemini* 12. Lovell en Aldin verkeerden in perfekte konditie na 59 omlopen om de aarde in 94 uur. Ondanks kleine moeilijkheden met de energievoorziening, wordt deze vlucht als de meest geslaagde beschouwd. Deze keer slaagde Aldin er in zijn ruimtewandeling te voltooien en werkzaamheden zonder moeilijkheden te verrichten. Hij had geen last van vermoeidheid. Dat kwam misschien, doordat op de buitenwand van de Gemini handgrepen en voetsteunen waren aangebracht.

Het Gemini-projekt kostte in totaal 1300 miljoen dollar en is in enkele maanden afgewerkt. De Amerikanen verstaan de kunst van het enteren en hebben het hoogterekord op hun naam gebracht. Dat wil niet zeggen, dat de Russen veel achter liggen. Zowel in Rusland als in Amerika schijnt de tijd van het pionieren met tochten om de aarde voorbij. De echte reis naar andere hemellichamen kan beginnen. Ook hieraan zullen heel wat experimenten voorafgaan; deze zijn nu in volle gang.

Op 21 februari 1967 zou de eerste bemande vlucht van het *projekt-Apollo* beginnen. Drie astronauten, White, Chauffee en leider Grissom zouden de kapsule bemannen. Bij de voorbereiding van deze vlucht gebeurde er echter een noodlottig ongeval. Op 27 januari brak bij een test met de Apollo brand uit in de bij deze proef volledig bemande en afgesloten kabine. De drie ruimtevaarders waren niet meer in staat hun ruimteschip te verlaten en vonden in de vlammenzee door verstikking de dood. De Apollo-kabine bevond zich op platform 34, bovenop een rechtopstaande Saturnus-raket. Plotseling meldde White dat er brand aan boord was en zeven sekonden later sprak Chauffee van een laaiende vuurzee. Dat was het laatste bericht van de bemanning. Door de enorme druk en hitte barstte de kabinewand, zodat er twee scheuren en een gat ontstonden.

De Amerikanen gebruiken in hun ruimteschepen zuivere zuurstof bij een druk van 0,35 kg/cm^2. Het brandgevaar tijdens de vlucht schijnt gering, omdat een brand niet kan voortwoekeren onder gewichtloze kondities. Er kunnen dan geen konvektie-

stromen optreden en het vuur smoort in zijn eigen verbrandingsprodukten. Het ontbreken van stikstof is voor de bemanning een belangrijk voordeel, want dit gas lost in het menselijk bloed op en bij een plotselinge drukvermindering vormt het belletjes in de bloedvaten, die de bloedcirkulatie gevaarlijk kunnen storen. Door het ontbreken van stikstof konden de Gemini-astronauten hun kabine zeer snel luchtledig maken, wanneer ze die voor een ruimtewandeling wilden verlaten. Overigens besloot de Amerikaanse Luchtmacht bij het in 1969 te lanceren Manned Orbiting Laboratory (projekt MOL) een atmosfeer van 70 procent zuurstof en 30 procent helium te gebruiken bij een druk van 0,35 kg/cm². Helium heeft echter ook nadelen. Het heeft een te goede warmtegeleiding en een resonantie in het gebied van de geluidstrillingen, die het kontakt tussen de astronauten door middel van spreken bemoeilijkt.

De Russen gebruiken wel stikstof in hun kabines en men verwachtte dat de Amerikaanse tegenspoed hun opnieuw een belangrijke voorsprong bij de reis naar de maan zou geven. Op 23 april 1967 lanceerden zij weer een bemand ruimteschip, de *Sojoez* 1, bemand door de astronaut Komarow. Alles leek naar wens te verlopen, maar een verwachte tweede lancering en een rendez-vous-operatie bleven uit. Bij de landing op 24 april bleek, dat de Sojoez was gaan draaien om haar lengteas, waardoor de koorden van de landingsparachute verward waren geraakt. De remraketten funktioneerden wel normaal en brachten het reusachtige, enorm zware ruimteschip van 300 km hoogte in de atmosfeer terug. De parachutes, die voor een veilige landing op de aarde moesten zorgen, weigerden echter open te gaan en Komarow viel met zijn Sojoez dicht bij Tsjeliabinsk in de Oeral te pletter. Een reddingsploeg was spoedig ter plaatse, maar het vuur in de krater viel niet meer te blussen en men vond slechts de verkoolde resten van het slachtoffer. Een kommissie van onderzoek zal de oorzaak van de ramp nagaan, maar het is bijna zeker, dat ook de Russische bemande vluchten aanzienlijk zijn vertraagd.

Overzicht der bemande ruimtetochten

jaar	*lanceer-datum*	*nummer en naam*	*bemanning*	*duur*	*P* min.	*H* km	*h* km
1961	5 mei	Mercury-Atlas	Shepard	15 min.	—	185	
	21 juli	Mercury-Redstone	Grissom	16 min.	—	192	
1962	20 febr.	Mercury-Atlas MA6	Glenn	3 omlopen	89	255	155
	24 mei	Mercury-Atlas MA7	Carpenter	3 oml.	90	385	160
	3 okt.	Mercury-Atlas MA8	Schirra	6 oml.	89	285	165
1963	15 mei	Mercury-Atlas MA9	Cooper	22 oml.	89	270	160
1965	23 maart	Gemini 3	Grissom Young	3 omw.	88	240	160
	3 juni	Gemini 4	White Mac Divitt	66 omw.	89	285	165
	21 aug.	Gemini 5	Cooper Conrad Jr.	137 omw.	89	340	170
	4 dec.	Gemini 7	Borman Lovell		89	330	160
	15 dec.	Gemini 6	Schirra Stafford		89	250	160
1966	16 maart	Gemini 8	Armstrong Scott		89	265	160
	3 juni	Gemini 9	Stafford Cernan		90	275	270
	18 juli	Gemini 10	Young Collins		95	755	300
	12 sept.	Gemini 11	Conrad Gordon		91	300	280
	11 nov.	Gemini 12	Levell Aldin		90	338	204
1961	12 apr.	Vostok 1	Gagarin	1 omw.	89	325	180
	6 aug.	Vostok 2	Titov	17 omw.	88	255	170
1962	11 aug.	Vostok 3	Nikolayev	64 omw.	89	250	180
	12 aug.	Vostok 4	Popovich	48 omw.	88	255	180
1963	14 juni	Vostok 5	Bykovsky	81 omw.	88	220	175
	16 juni	Vostok 6	mej. Teresjkova	48 omw.	88	230	180
1964	12 okt.	Voskhod 1	Komarov Yegorov Feoktistov	16 omw.	90	410	180
1965	18 maart	Voskhod 2	Leonov Belyayev	17 omw.	90	480	170
1967	23 april	Sojoez 1	Komarow	18 omw.	89	225	200

twaalfde hoofdstuk

het heelal is niet leeg

Deeltjes en golven – Straling uit de kosmos – Het begon met ballonnen – Verkenning met de V 2 – De cislunaire ruimte – Explorers komen in aktie – IMP 1 meet de inhoud van een 'leeg' gebied – Schokgolven in de interplanetaire ruimte – Magnetische velden in het heelal – Kunstmanen meten de zonnewind – Tellingen van kosmische straling – Het onderzoek van de primaire kosmische straling – Deuteriumproblemen – Foto's van boven de dampkring – Het ultraviolette spektrum van de zon – OSO's onderzoeken de zon – De elektrons en de protons – Röntgenfoto's van de zon – Het projekt OAO – Geheimen van de hemel – Gruis om de aarde – Reuzenschepnetten vissen naar meteoroïden – Onderzoek van de vangst – Geodetische satellieten.

De stormachtige ontwikkeling van de natuurkunde in de laatste jaren heeft ons inzicht in allerlei verschijnselen zeer verdiept, maar daardoor is het tegelijkertijd ook heel wat moeilijker geworden zich een juiste voorstelling van bepaalde dingen te vormen. Zo is het licht enerzijds op te vatten als kleine 'brokjes' energie, de *fotonen*, anderzijds is het te beschouwen als een golfverschijnsel bestaande uit elektromagnetische golven.

Deze analyse leidde ertoe, dat De Broglie in 1924 de veronderstelling uitte, dat ook materiedeeltjes, bijvoorbeeld elektronen, een golfkarakter zouden kunnen bezitten. Proeven bewezen, dat elektronen zich inderdaad onder bepaalde omstandigheden als een golfverschijnsel kunnen gedragen, waarvan de golflengte in dit geval gevonden wordt uit de betrekking:

$$\lambda = \frac{h}{m\,v} \qquad (15),$$

waarin m de massa en v de snelheid van het desbetreffende deeltje is. Het dualistisch karakter van materie en straling was daarmee zeer duidelijk uitgedrukt.

Toch zijn er fundamentele verschillen tussen elektromagnetische golven en materiegolven. De laatste bewegen zich niet met de snelheid van het licht, maar met een kleinere snelheid. Beide

soorten golven zou men in bepaalde gevallen kortheidshalve met de naam straling kunnen aanduiden. Die straling is dan onder te verdelen in elektromagnetische en korpuskulaire straling.

De aarde ontvangt uit de wereldruimte allerlei soorten straling. Het licht van de zon en van de sterren, hun radiostraling en de röntgenstraling behoren alle tot de elektromagnetische soort. Er komen echter zowel van de zon als uit de kosmos korpuskulaire stralingen, bestaande uit geladen (en ook ongeladen) deeltjes. Naast de naam korpuskulaire straling is ook de naam *kosmische straling* in gebruik. Deze laatste bestaat uit met grote snelheid bewegende stromen geladen deeltjes.

Elk kosmisch deeltje dat de aarde passeert, zal door de dampkring moeten gaan. Daarbij ontmoet het atomen en hierdoor worden een aantal luchtdeeltjes geïoniseerd. Ook lang geleden wist men reeds, dat de lucht om ons heen altijd wel een aantal ionen bevat; men vermoedde dat radioaktieve stralingen, vanuit de aardkorst of door radioaktieve stoffen in de atmosfeer, hiervoor verantwoordelijk waren. Dan zou echter moeten blijken, dat het geleidingsvermogen van de lucht met toenemende hoogte zou afnemen. Dit is na te gaan door meetapparaten omhoog te sturen in een ballon. Het tegendeel bleek waar te zijn: hoe hoger men kwam, hoe meer ionen per cm^3 werden geteld; blijkbaar kwam er dus ioniserende straling van boven, die geleidelijk in de dampkring werd geabsorbeerd.

Een dieper inzicht in de aard en de sterkte van de kosmische straling is pas verkregen door onderzoek met ballonnen, later met raketten, die opstegen in de atmosfeer. Op grote hoogten blijkt de kosmische straling vooral te bestaan uit zeer snelle protonen. In onze laboratoria kon men protonen nog niet dergelijke snelheden geven. Deze *primaire kosmische straling* neemt snel af als ze de dampkring binnendringt. Aan het aardoppervlak bestaat de kosmische straling vooral uit negatief geladen deeltjes, elektronen, maar ook positieve, de zogenaamde positronen, komen voor. Deze laatste zijn deeltjes met een even grote massa als een elektron en met een even grote lading, maar positief in plaats van negatief. Verder heeft men in de kosmische straling nieuwe elementaire deeltjes ontdekt, de *mesonen*, met een even grote negatieve lading als een elektron maar met een tweehonderdmaal grotere massa. Bij het binnendringen in de atmosfeer produceren

de protonen de mesonen door botsingen met atoomkernen, zodat de hoeveelheid mesonen aanvankelijk toeneemt van boven naar beneden. De levensduur van een meson is echter zeer kort (10^{-8} sekonde); daarom neemt het aantal mesonen lager in de atmosfeer weer af. Zo vindt men bij tellingen een maximum op bepaalde hoogte (fig. 33). De protonen verdwijnen snel en de geproduceerde mesonen ondergaan, als ze niet te snel bewegen, veranderingen, waardoor ze na zeer korte tijd desintegreren in een elektron. Mesonen met hogere energie kunnen door hun grotere snelheid veel verder doordringen en gemakkelijk het aardoppervlak bereiken, zelfs diep in de aarde doordringen. In de primaire kosmische straling vindt men geen mesonen, omdat hun levensduur daarvoor veel te kort is, zelfs bij zeer grote energie.

In de serie V 2-vluchten, die op 19 april 1946 in de Verenigde Staten begon, werd dit soort onderzoekingen uitgevoerd door drie onafhankelijk van elkaar werkende groepen Amerikaanse onderzoekers (pl. I). Om de kosmische straling te meten gebruikt men een geigerteller. Het principe van deze telbuis komt neer op het registreren van een korte stroomstoot, die veroorzaakt wordt door de ionisatie van de lucht in een metalen buis. De buis is

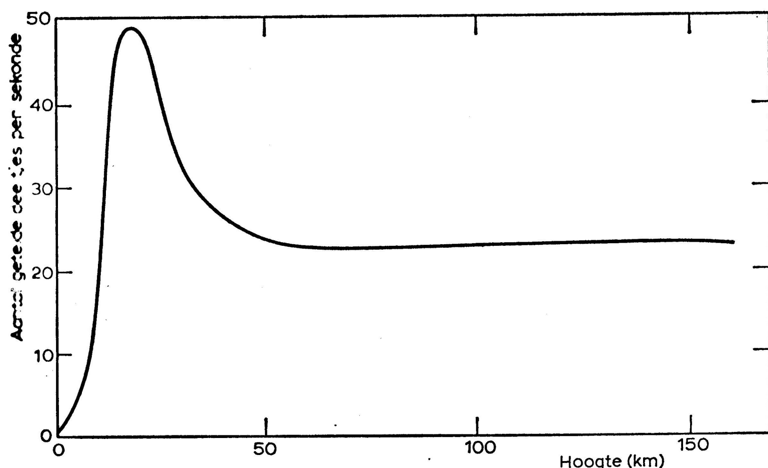


Fig. 33 Resultaten van de geigerteller bij een V 2-vlucht in juli 1947 tonen aan, dat de dampkring de stralingsmetingen op hoogten onder de 55 km merkbaar beïnvloedt.

cilindervormig en langs de as van de cilinder is een metalen draad aangebracht. De draad is negatief geladen, zij dient als kathode en is verbonden met een zeer gevoelige stroommeter. Een deeltje, dat door de buis vliegt, ioniseert het zich daarin bevindende gas, zodat er een korte stroom wordt doorgelaten. Op zeeniveau meet zo'n teller enkele deeltjes per cm^2 en per sekonde. De richting van de deeltjes is ook te bepalen door een aantal dergelijke buizen in een rij of in bepaalde groepen op te stellen en ze gezamenlijk op een passende wijze op een stroommeter aan te sluiten, die alleen een uitslag geeft als alle buizen van een bepaalde rij gelijktijdig een passerend deeltje registreren. Aan de grond blijken bijna alle deeltjes van boven te komen, terwijl op het equatoriale gedeelte van de aarde een geringe voorkeur voor een oostelijke richting heerst. De tellingen tijdens de vlucht met een V2 van juli 1947 (fig. 33) vertoonden duidelijk het maximum op 19 km hoogte. Boven dit niveau is de primaire kosmische straling te meten en boven 55 km blijkt ze praktisch onverminderd door de dampkring heen te dringen.

Daar de primaire kosmische straling uit geladen deeltjes bestaat, mag men verwachten, dat zij beïnvloed wordt door het magnetische veld van de aarde. Beweegt een geladen deeltje zich in een magneetveld, dan wordt het door de lorentzkracht van zijn rechte weg afgebogen. Alleen als de geladen deeltjes zich langs de magnetische veldlijnen bewegen is er geen afbuiging. Daarom moet men verwachten, dat het getelde aantal deeltjes aan beide magnetische polen even groot zal zijn en gelijk aan het aantal in de interplanetaire ruimte. Hier gaan de veldlijnen immers loodrecht naar beneden door de atmosfeer. Boven lagere magnetische breedten echter zal het aantal getelde deeltjes geringer zijn, omdat een aantal wordt afgebogen door het aardmagneetveld. Zou men daar hoger en hoger stijgen, dan mag men verwachten, dat het getelde aantal deeltjes toeneemt met de grotere afstand tot de aarde.

Deze voorspelling van Van Allen werd inderdaad bevestigd door de eerste kunstmaan, zoals wij reeds in hoofdstuk VI zagen. Er bleken echter veel meer geladen deeltjes te zijn en een groot aantal was min of meer gevangen in het magneetveld van de aarde. Zij vormen de Van Allen-gordels. Daarnaast echter komt vanuit de wereldruimte voortdurend een stroom kosmische

straling, die zich vermengt met de geladen deeltjes van de Van Allen-gordels. Het is niet altijd even gemakkelijk deze verschillende effekten van elkaar te scheiden. Buiten de Van Allen-gordels zal men dat gemakkelijker kunnen doen. Het onderzoek van de ruimte tussen aarde en maan was dan ook een logische volgende stap. Na de primitieve pogingen met de eerste Pioniers is dit op grote schaal voortgezet. Vooral een gedeelte van het *projekt-Explorer* was hieraan gewijd; sommige Explorers drongen tot diep in de cislunaire ruimte door.

Explorer 6 (pl. IV) was de eerste satelliet, die veel metingen verrichtte in deze gebieden. Zij bevatte zes door lood beschermde met gas gevulde telbuizen, koncentrisch gerangschikt om een zevende teller. Sommige deeltjes met voldoende hoge energie kunnen in deze buizen binnendringen. Andere buizen registreerden de deeltjes met lagere energie. Tweemaal bij iedere omloop ging de satelliet door de Van Allen-gordels. De eigenschappen van het magneetveld van de aarde werden gelijktijdig gemeten, zowel de sterkte als de richting.

Overzicht van het projekt-Explorer

jaar	*lanceer-datum*	*no.*	*P* min	*H* km	*h* km	*i*	*doel en opmerkingen*	
1958	31 jan.	1	115	2530	360		van A.g.	14 kg zwaar
	5 maart	2					mislukt	
	26 maart	3	116	2820	195		van A.g.	14 kg zwaar
	26 juli	4	110	2220	260		van A.g.	17 kg zwaar
	24 aug.	5					mislukt	
1959	7 aug.	6	12^h46^m	42170	250		van A.g.	64 kg zwaar
	13 okt.	7	1 41	1100	555		van A.g.	41 kg zwaar
1960	3 nov.	8	1 53	2295	420		ionosfeer en mikromet.	
1961	16 febr.	9	1 58	2580	635		wierp ballon uit	
	25 maart	10	83 30	180000	175		cislunaire ruimte	
	27 april	11	1 48	1785	485		kosm. str. en gamma str.	
	16 aug.	12	26 34	77200	295		cislunaire r. en van A.	
	25 aug.	13					mikromet.	
1962	2 okt.	14	36 25	98535	280	33	kosm. str. en van A.g.	
	28 okt.	15	5 16	17635	315	18	binnenste van A.g.	
	16 dec.	16	1 44	1185	750	52	mikrometeoroïden	
1963	3 april	17	1 36	915	245	58	samenstelling atmosfeer	
	27 nov.	18	94 30	195570	195	31	cisl. r. en zonnestr.	
	19 dec.	19	1 56	2400	590	79	wierp ballon uit	

Overzicht van het projekt-Explorer (vervolg)

jaar	*lanceer-datum*	*no.*	*P*	*H* km	*h* km	*i*	*doel en opmerkingen*
1964	25 aug.	20	1 44	1 030	880	80	ionosfeer
	4 okt.	21	34 57	95 600	190	34	zonnestraling
	9 okt.	22	1 45	1 090	890	80	ionosfeer, laserexp.
	6 nov.	23	1 39	980	470	52	mikrometeoroïden
	21 nov.	24	1 56	2 500	530	81	ballon, met dezelfde
		25	1 56	2 495	530	81	raket als 25, van A.g.
	21 dec.	26	7 37	26 280	310	20	van A.g.
1965	29 april	27	1 48	1 320	940	41	ionosfeer, laserexp.
	29 mei	28	142 38	264 000	190	34	IMP 3
	6 nov.	29	2 00	2 280	1 120	59	geodetische sat. Geos 1
	19 nov.	30	1 41	885	710	60	
	29 nov.	31	2 01	2 980	505	80	ionosfeer
1966	25 mei	32	1 56	2 720	285	65	
	1 juli	33	142 20	434 425	15 900	29	stralingsmetingen IMP 4
1967	24 mei	34	4	225 000	257	67	IMP 5

Overzicht van de projekten Proton en Elektron

			min.				
1965	16 juli	1	92	590	185	63	Proton 1
	2 nov.	2	93	610	195	63	Proton 2
1966	6 juli	3	92	580	185	63	Proton 3
1964	30 jan.	1 en 2	169	7 200	315	61	Elektron 1
			1357	67 995	435	61	Elektron 2 gelijk met 1 gelanceerd
	10 juli	3 en 4	168	7 040	405	61	Elektron 3
			1314	66 240	460	61	Elektron 4 gelijk met 3 gelanceerd

Overzicht van de projekten OGO, OSO *en* OAO

		min.				
1964	5 sept.	3839	149 000	290	31	OGO 1
1962	7 maart	94	690	235	91	OSO 1
1965	3 febr.	96	630	550	33	OSO 2
	14 okt.	104	1 520	420	87	OGO 2
1966	8 april	101	805	795	35	OAO 1
	7 juni	2915	122 000	315	31	OGO 3

Zoals men uit de tabel ziet, kwam deze Explorer tot meer dan 42000 km van de aarde. Daarbij nam zij een foto van 27000 km afstand van de aardbol. In 1961 drong Explorer 10 nog verder door in de cislunaire ruimte en bevestigde de reeds door Explorer 6 en Pionier 1 en 5 gevonden resultaten. Tussen 40000 en 65000 km van de aarde scheen een reusachtige stroom ionen om de aarde in westwaartse richting te lopen. Verder naar buiten tussen 55000 en 100000 km geven grote fluktuaties in de veldsterkte de indruk van hydromagnetische schokgolven. De satelliet gaf een eerste indruk van de snelheid en de dichtheid van de van de zon afkomstige protonen.

De *zonnewind* bevat 10 deeltjes per cm^3 en beweegt zich met een snelheid van 270 km/sek. Na een zonnevlam op 26 maart 1961 werden grotere snelheden gekonstateerd. Ongeveer vijf uur na het ontstaan van de vlam vond men een heftige reaktie in het interplanetaire magneetveld.

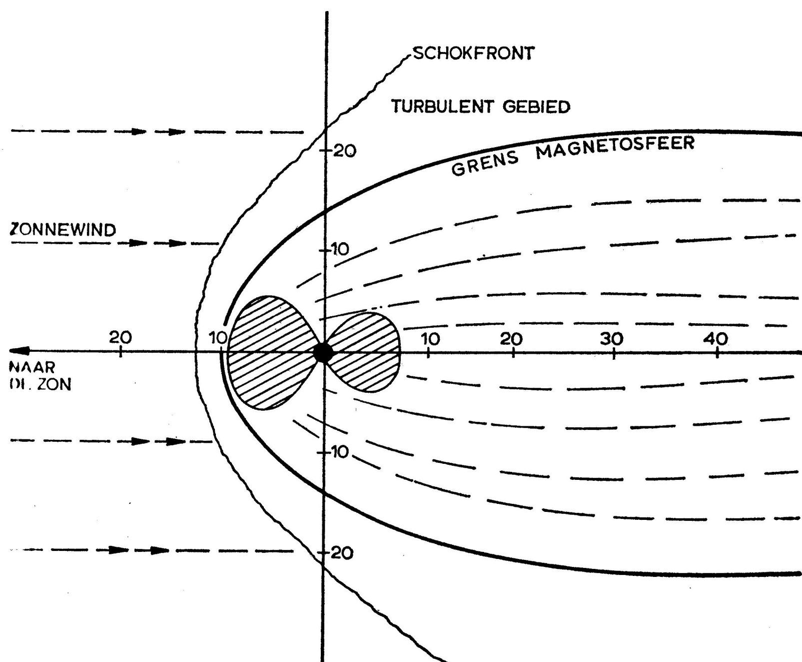


Fig. 34 De aarde, omringd door de Van Allen-gordels, bevindt zich binnen haar magnetosfeer. Deze wordt aan de kant van de zon begrensd door een turbulent gebied met daarbuiten een schokfront op de plaats, waar de zonnewind en de magnetosfeer elkaar ontmoeten. De schalen zijn in aardstralen.

Langzamerhand vormde zich zo voor ons oog een volkomen ander en nieuw beeld van de interplanetaire ruimte. Vroeger dacht men, dat dit lege gebied tussen zon en planeten hoogstens schaars bevolkt was door stofdeeltjes (waargenomen als zodiakaal licht en Gegenschein) en grotere vaste deeltjes, meteoroïden. Nu bleek, dat behalve het rondzwervende stof ook gas een belangrijk deel van de inhoud van die ruimte uitmaakte.

Explorer 12, 14 en 18 (de laatste wordt ook wel *Imp* 1 genoemd) vervolmaakten met talrijke reeksen metingen dit volkomen nieuwe beeld van de ruimte om de aarde (fig. 34). Van de zon gaat voortdurend een stroom geladen deeltjes uit, voornamelijk protonen, kernen van waterstofatomen. De flux ervan bedraagt $1{,}5 \times 10^8$ deeltjes per cm^2 en per sekonde bij rustige zon en zij kan oplopen tot 2×10^9 of meer bij gestoorde zon. Onder normale omstandigheden spoeden die deeltjes zich met een snelheid van 50 km/sek. voort van de zon af, terwijl tijdens heftige zonnestoringen de snelheden kunnen oplopen tot 300–800 km/sek. Het aantal deeltjes bedraagt, volgens de meest recente metingen, 4 per cm^3 (dat is dus iets minder dan de 10 van de Explorer 6) en zij bewegen zich voort in een interplanetair magneetveld met een sterkte 5 γ. Het aantal elektronen in de zonnewind is moeilijk te meten, terwijl enkele bepaling van het aantal heliumkernen (alfadeeltjes) leidt tot een waarde van 5 procent van het aantal protonen.

Nadert deze stroom zonnedeeltjes de omgeving van de aarde, dan wordt zij opgevangen door het aardmagneetveld. De grens, waar ze worden opgevangen, noemt men de magnetopause. Hier is de druk van de deeltjes gelijk aan de magnetische druk (juister, waar de flux van het moment van de zonnewind gelijk is aan de energiedichtheid van het magnetisch veld).

Deze voorwaarde leidt tot de vergelijking:

$$\frac{B^2}{8\pi} = n\, m_H\, v^2 \cos\vartheta \tag{16}$$

Voor $\vartheta = 0$ dus $\dfrac{B^2}{2\pi\, n\, m_H\, v^2} = 4$

Noemen we de magnetische veldsterkte aan het aardoppervlak B_0 en de straal van de aarde R_E dan is op afstand r

$$B = 2 B_0 \left(\frac{R_E}{r}\right)^3 \qquad (17)$$

Invullen levert:

$\left(\frac{B_0^2}{2 \pi n m_H v^2}\right) \left(\frac{R_E}{r}\right)^6 = 1$ zodat de grens van de magnetopause r volgt uit de relatie

$$r = R_E \left(\frac{B_0^2}{2 \pi n m_H v^2}\right)^{1/6} \qquad (18),$$

waarin n het aantal deeltjes per cm^3 is, m_H de massa van een proton en v de snelheid van de zonnewind. Nemen we $B_0 = 0{,}35$ gauss; $n = 10$ (iets te veel, maar we moeten ook aan de elektronen denken) $v = 5 \times 10^7$ cm/sek. dan vinden we $r = 8{,}7\ R_E$.

Het gebied binnen de magnetopause noemen we de magnetosfeer. Aan de kant van de zon ontstaat daarbij een magnetohydrodynamisch schokfront (iets dat men tot op zekere hoogte zou kunnen vergelijken met het kielzog van een schip) op een afstand van ongeveer 10 aardstralen. Even daarbuiten ligt een turbulent gebied. Aan de nachtkant van de aarde ligt de magnetosfeer veel verder, tot 30 à 40 aardstralen toe. Daartussen bevindt zich achter de aarde een gebied met een zeer komplexe struktuur, waaronder bijvoorbeeld een neutrale laag. Ten noorden daarvan is het veld gericht op de zon, ten zuiden van de zon af. De aarde lijkt zo wel enigszins op een komeet, die zoals bekend ook wordt omgeven door een coma, waarmee men de Van Allen-gordels en de magnetosfeer zou kunnen vergelijken, en een staart, die vaak iets gekromd is. Aan de van de zon afgekeerde kant is de magnetosfeer tot op grote afstand nog meetbaar en pas op 3000 aardstralen valt er geen invloed meer te konstateren.

Het van de zon uittredende gas expandeert radieel, maar het zonneplasma schijnt niet volkomen symmetrisch uit de zon te treden. De verdeling van de flux is anisotroop. Vooral de vlucht van de *Mariner* 2, die van de aarde op weg ging naar Venus, gaf een eerste denkbeeld daarvan, dat later uitgebreid werd door de Imp 1 en 3, de Mariner 4 en de Pionier 6 en 7. In de radiële

magnetische veldsterkte werd een 27-daagse periode gekonstateerd. Nu draait de zon in ongeveer 27 dagen om haar as; aangezien de magnetische velden met de uittredende plasmawolken mee worden getrokken, wijst dit op een systematische anisotropie in de dichtheid der wolken. Duidelijk blijkt, dat er de afgelopen jaren een sterke zuidelijke magnetische komponent is opgetreden, terwijl ook vrijwel alle zonneaktiviteit op het zuidelijk halfrond van de zon is gekonstateerd.

Tijdens heftige zonnevlammen hebben de satellieten reeds meermalen elektronenwolken met hoge energieën in de ruimte waargenomen. Deze waren steeds gekorreleerd met een storing op de rechterhelft van de zon (gemiddelde lengte 62°) en werden in een kegel met een openingshoek van 15° à 20° uitgezonden. Tegelijk met deze plasmawolken zijn ook kosmische stralingen gemeten met energieën tussen 20 en 100 MeV. De zon is dus ook een bron van de kosmische straling.

Om de ruimte om de zon verder te onderzoeken, werd op 16 december 1965 de *Pionier* 6 gelanceerd. Hiermede werd het sedert 1960 gestaakte Pioniers-programma hervat. Pionier 6 werd een kunstplaneet en kwam in een elliptische baan om de zon. De Pionier draaide om een as loodrecht op de ekliptika en bij iedere rotatie tastten de instrumenten 360° van de hemel af. Zowel de zonnewind wordt geregistreerd als de interplanetaire magneetvelden. Met hetzelfde doel volgde in 1966 de Pionier 7, die eveneens een kunstplaneet is. Haar baan ligt tussen die van de aarde en Mars in.

Het is niet zo gemakkelijk om de snelle protonen van de zonnewind te onderscheiden van de kosmische straling vanuit de melkweg. Wanneer een primair galaktisch proton botst met een atoomkern ontstaat een meson. Dit zijn zogenaamde pi-mesonen, die positief of negatief geladen zijn, maar er zijn ook neutrale pi-mesonen bij. Die hebben een nog kortere levensduur dan de geladen mesonen (10^{-12} sek.) en vallen uiteen in een paar gammastralen, die in tegengestelde richting bewegen. Ieder van deze beide gammastralen signaleert dus kosmische straling. De intensiteit der gammastraling is dan evenredig met de echte kosmische straling en de dichtheid van de materie. Een neutraal pi-meson korrespondeert met tenminste 135 miljoen elektronvolt (135 MeV) en de gammastralen hebben een energie van 100

MeV, waardoor ze een golflengte hebben van 0,00013 Å.

Explorer 11, gelanceerd op 27 april 1961, moest een kaart van de hemel maken bij deze golflengte. Een gammakijker werd ontworpen, bestaande uit een aantal op elkaar bevestigde platen, met daarachter een achttal fotocellen met de nodige versterkers. Iedere gammastraal, die in de platen een kern treft, produceert een elektron en een positron, die heldere sporen achterlaten, die door de fotocellen als lichtflitsen waargenomen worden. De op elkaar gezette platen zijn zo gemaakt, dat alleen gammastralen waargenomen worden, die onder een hoek van 12° met de optische as van de kijker binnentreden. Ook neutronen en straling van de Van Allen-gordel kunnen worden geregistreerd als flitsen, maar op een iets andere wijze. Op kommando vanaf de grond kan of de ene soort flits of de andere geteld worden. Een probleem is uiteraard, dat de geregistreerde gammastraling niet dicht bij de aarde behoeft te zijn ontstaan. Het is ook mogelijk dat ze van ver uit de wereldruimte afkomstig is.

Men kan trachten de protonen uit de kosmos te registreren door tijdens rustige perioden van de zon te meten wat vanuit andere richtingen wordt waargenomen. Het blijkt dan, dat vanuit de interstellaire ruimte niet alleen protonen, maar ook andere kernen naar ons toekomen. In het bijzonder zocht men daarbij naar *deuterium*, een isotoop van waterstof met een tweemaal zo grote massa. De op 29 mei 1965 gelanceerde Explorer 28, die ook wel *Imp* 3 wordt genoemd, beschreef een sterk excentrische baan tussen 190 en 264000 km hoogte in bijna 6 dagen. Deze kunstmaan ontdekte een aantal deuteriumdeeltjes. Op tijden, dat de zon geen grote wolkendeeltjes uitzond werden deuteriumkernen geteld met energieën tussen 17 en 63 MeV. Het aantal bleek groter te zijn bij grotere energieën en het nam toe met het kwadraat van de energie. Bij 60 MeV is het ongeveer 5 procent van het aantal protonen. Bovendien vond men ook heliumkernen (ongeveer driemaal zoveel als deuteriumdeeltjes). Waarschijnlijk ontstaan ze in de interstellaire ruimte. Door samenstelling en energiedistributie te onderzoeken krijgt men gegevens over de magnetische velden in het melkwegstelsel, waardoor de kosmische straling wordt beïnvloed. Speciaal ten behoeve van het onderzoek van de kosmische straling diende ook het Russische *Protonprojekt.*

De zon is ook een bron van kosmische straling. Het blijkt opnieuw, hoe belangrijk het is haar te bestuderen. Vanuit hun observatoria op aarde nemen de astronomen de zon reeds vele jaren waar. De dampkring belet ons echter allerlei soort straling nauwkeurig te onderzoeken. Daarom alleen al scheen het gerechtvaardigd een serie kunstmanen speciaal voor de studie van de zon te ontwerpen. Zo ontstond het projekt-oso ('Orbital Solar Observatory'), dat beoogde een aantal van dergelijke satellieten te lanceren.

Het zichtbare spektrum loopt van 4000 tot 8000 Å. Bij grotere golflengten zijn er verscheidene gebieden, waar men toch nog door de atmosfeer heen het zonlicht kan waarnemen. In het ultraviolet is dat echter niet het geval. In de loop der jaren zijn er de laatste tijd steeds meer waarnemingen gedaan bij steeds kortere golflengten. Daarbij is men er in geslaagd opnamen te verkrijgen vanaf 4000 Å tot bijna in het röntgengebied toe. Het zonnespektrum is een kontinu spektrum, maar het bevat een groot aantal donkere lijnen. Naarmate men met raketten hoger en hoger steeg en het spektrum tot steeds kortere golflengten waarnam, bleek ook dit te veranderen.

Behalve zeer sterke lijnen van geïoniseerd calcium bevat het zichtbare zonnespektrum ook sterke lijnen van waterstof. Deze serie lijnen, de Balmer-reeks, laat zien dat waterstof op de zon een zeer veel voorkomend element is; het heeft een grote abondantie. Uit atoomtheoretische overwegingen volgt, dat waterstof nog meer reeksen spektraallijnen uitzendt. Een dergelijke serie, de Lyman-reeks, bevindt zich in het ultraviolet. Een der allersterkste lijnen is de Lyman-alfa-lijn bij een golflengte van 1215 Å, de meest voorkomende sprong in het waterstofatoom. Een der idealen der zonnefysici was aanvankelijk met behulp van raketten deze lijn te fotograferen.

Naarmate men er beter in slaagde bij rakettochten de raket te stabiliseren en haar instrumenten op de zon te richten, gelukte het ook spektra van betere kwaliteit en verder in het ultraviolet op te nemen. Het bleek, dat het kontinu zonnespektrum bij ongeveer 2000 Å ophield en overging in een emissiespektrum van afzonderlijke lijnen. Met steeds betere instrumenten slaagde men er in het spektrum tot omstreeks 80 Å te fotograferen. Misschien is er bij kortere golflengten wel een zwak kontinuüm, maar het is nog niet gekonstateerd.

Een groot deel van deze spektra werd vervaardigd vóór de tijd van de kunstmanen. Reeds in 1955 was men er in geslaagd een foto te maken van de zon in het licht van Lyman-alfa. De foto was gemaakt met een eenvoudige kamera, voorzien van een filter, die alleen Lyman-alfa doorliet. Deze straling blijkt afkomstig van een gebied, dat ongeveer 5000 km boven het oppervlak van de zon ligt, want reeds het ijle gas daarboven zendt zoveel Lyman-alfa uit, dat het eronder liggende gebied dan niet te zien is. Het blijkt, dat de zonnevlekken op zo'n foto niet zichtbaar zijn, terwijl de fakkels in de buurt van de gebieden waar vlekken voorkomen wel duidelijk opvallen. Zo'n Lyman-alfa-opname is dus een plaatje van de chromosfeer, een gebied van de zon, dat we op andere wijze niet zo gemakkelijk kunnen waarnemen.

Ook had men reeds omstreeks 1950 in sommige raketten instrumenten gemonteerd, die de röntgenstraling van de zon moesten meten. Zij waren voorzien van filters, bestaande uit zeer dunne metaalfolies, die alleen de gewenste stralingen doorlieten. Op 19 april 1960 verkreeg Friedman van het Naval Research Laboratory een eerste foto van de zon in röntgenlicht (pl. IX). Als opname-apparaat gebruikte hij een normale kamera van 16 cm lengte, maar zonder lens. In plaats daarvan zat een gaatje van 0,13 mm, waardoor op de film een beeld ontstond van de zon van slechts 1,3 mm diameter. Om voldoende lang te kunnen belichten moest de kamera op de zon worden gericht. De raket was daartoe voorzien van een volgmechanisme, maar het bleek, dat de kamera desondanks nog om zijn optische as was rondgedraaid tijdens de opname. Elk vlekje op de zon was daardoor uitgesmeerd tot een deel van een koncentrisch cirkeltje.

De röntgenstraling van de zon blijkt grotendeels afkomstig te zijn uit de corona. Hierin bevinden zich gebieden van aktiviteit, de coronakondensaties, die boven de vlekken en fakkelgebieden van de fotosfeer en chromosfeer liggen. De intensiteit van de straling van deze kondensaties is veel groter dan die van de ongestoorde corona ernaast. In het bijzonder na zonnevlammen schijnen sterke veranderingen in de corona-condensaties op te treden, die verantwoordelijk zijn voor een behoorlijke dosis röntgenstraling, waarschijnlijk ook bij nog kortere golflengten dan de röntgenstraling van de normale rustige zon.

Tegelijk met de Transit II A werd de Greb gelanceerd (zie hoofdstuk IX), die behalve Lyman-alfa-straling ook röntgenstraling tussen 5 en 8 Å kon waarnemen. De ongestoorde corona zendt deze niet uit. Op 6 augustus 1960, omstreeks 15^h09^m, trad een zonnevlam op. Direkt daarna werd tijdens het optreden van de vlam röntgenstraling van zeer korte golflengte door de Greb geregistreerd.

Pas in 1962 kwam het OSO-programma in aktie. OSO 1 werd op 7 maart met een drietraps-Delta-raket omhooggebracht. Zij beschreef op 560 km hoogte een cirkelvormige baan en moest de zonnestraling in het ultraviolet, het röntgengebied en de gammastraling meten. Na 76 dagen zweeg de satelliet, nadat zij 75 vlammen had waargenomen. Het gyroskopische stabilisatiesysteem weigerde, zodat ze ging tollen en daardoor konden de zonnecellen geen energie meer leveren. Vóór de lancering van deze OSO was achtmaal het optreden van röntgenstraling bij zeer korte golflengten gelijktijdig met zonnevlammen opgemerkt (fig. 35). Kunder had de radiostraling op die momenten nagezocht en gevonden, dat er tegelijkertijd een emissie van radiostraling optrad in het gebied tussen 3 en 10 à 20 cm golflengte. Soms traden er ook radiostoten op in het golflengtegebied van enkele meters, de type-III-radiostoten. In de OSO 1 bevond zich een teller voor röntgenstraling tussen 0,2 en 0,5 Å; deze bevestigde in een aantal

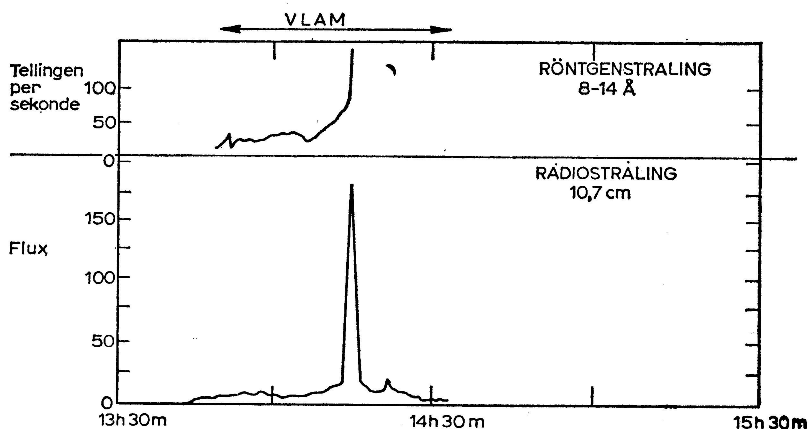


Fig. 35 Röntgenstraling van een zonnevlam op 27 april 1962, waargenomen met de satelliet Ariël, viel samen met een toeneming van de radiostraling bij 10 cm.

gevallen inderdaad die korrelatie. Stootjes met een duur van slechts 0,1 sekonde zijn waargenomen. Men veronderstelt, dat deze straling veroorzaakt wordt door een zwerm elektronen in de corona, ontstaan op plaatsen, waar ze sterk versneld worden. Het is duidelijk, dat de röntgenstraling tussen 0,1 en 10 Å afkomstig is van de gestoorde corona; de rustige of licht gestoorde corona zendt straling uit tussen 10 en 100 Å.

Op 3 februari 1965 volgde de OSO 2, bijna een jaar na het hiervoor geprojekteerde tijdstip. Oorspronkelijk zou de lancering in april 1964 plaatsvinden, maar tijdens een kontrole ontstak statische elektriciteit de derde trap van de raket. Drie mannen werden gedood door de vlammen en negen anderen gewond. OSO 2 werd zo ernstig beschadigd, dat de lancering enige tijd moest worden uitgesteld. Ten opzichte van de OSO 1 is er een belangrijke verbetering aangebracht. Op 8 maart 1967 volgde de OSO 3, die de gewenste baan op 560 km hoogte bereikte. De 284 kg zware satelliet bevatte 114 kg aan wetenschappelijke instrumenten. Vijf instrumenten meten de röntgenstraling tussen 1 en 400 Å. OSO 4 zal de zonneschijf aftasten en beelden opnemen in licht tussen 300 en 1300 Å. De satelliet kan op kommando van de aarde de zonneschijf aftasten. Plannen om een Advanced Orbiting Solar Observatory in een baan te brengen werden in 1965 door de NASA uitgesteld wegens geldgebrek.

Ook de Russen hielden zich met het onderzoek van de röntgenstraling bezig met hun *Elektrons*, die bovendien de chemische samenstelling van de atmosfeer bepaalden. Elektron 2 was voorzien van tellers met vensters van beryllium en aluminium. De eerste folie laat straling tussen 2 en 10 Å door, de tweede tussen 8 en 18 Å. Deze kunstmaan beschreef een baan tussen 435 en 68000 km hoogte en passeerde daarbij iedere keer de Van Allengordels. Daar werd natuurlijk een sterke straling geregistreerd. Zodra de satelliet deze streken had verlaten, werd het aantal tellingen minder. Doordat de Elektron om zijn as wentelde tastten de telbuizen regelmatig de hemel af. Wanneer ze van de zon af gericht zijn, wordt er minder geregistreerd, dan wanneer ze op de zon gericht zijn. Zo vindt men de straling van de hemelachtergrond. Ook deze satelliet telde soms extra intensieve röntgenstoten tijdens storingen op de zon.

Interessant is ook een nauwkeurige analyse van het ultra-

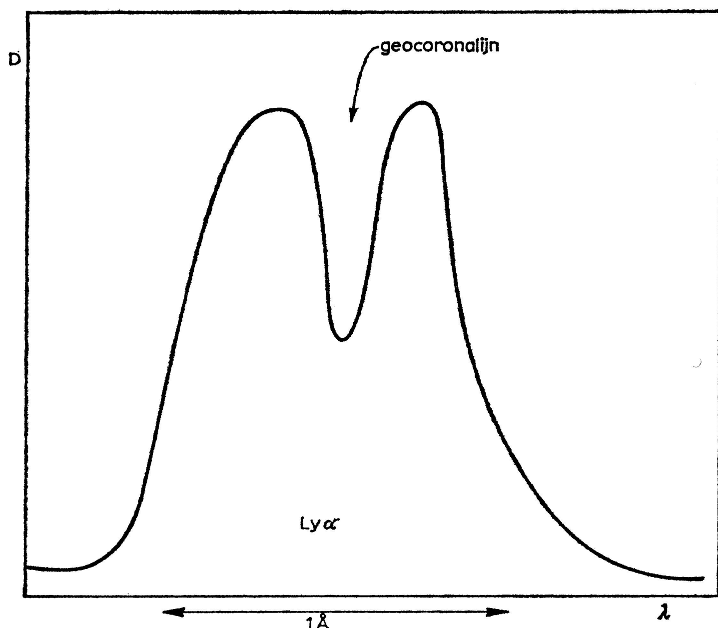


Fig. 36 De geo-coronalijn komt voor als absorptielijn bij Lyman-α zoals blijkt uit het verloop van de zwarting van het spektrum.

violette spektrum. Bij 304 Å bevindt zich een lijn van geïoniseerd helium. In deze gebieden kan men het spektrum niet meer fotograferen, maar moet men de straling langs foto-elektrische weg registreren. Het profiel van de Lyman-alfa-lijn is in verschillende delen van de zon niet gelijk. Zo vertoont Lyman-alfa een duidelijke absorptiekern, die afkomstig is van waterstof in de protonosfeer van de aarde (fig. 36). Zo kombineert het spektrum van de *geocorona* met de zonnecorona.

Dit soort waarnemingen van de zon is uiteraard uit te breiden tot een dergelijke studie van andere hemellichamen. Hoewel het mogelijk is dat interstellaire waterstof en helium de straling tussen 30 en 900 Å zullen absorberen, zal men toch belangrijke wetenswaardigheden kunnen afleiden uit waarnemingen van de hemellichamen tussen 950 en 2900 Å en bij golflengten kleiner dan 30 Å.

Met raketten slaagden Friedman en zijn medewerkers er in, ultraviolette sterspektra te verkrijgen tussen 1225 en 1350 Å. Later, in 1961, deed Heddle met zijn groep dit opnieuw bij an-

dere sterren. Om betere resultaten te verkrijgen, moet men over een waarnemingsplatform boven de atmosfeer beschikken. Na vijf keer uitstellen werd op 8 april 1966 het eerste *Orbital Astronomical Observatory* gelanceerd. De OAO 1 had een gewicht van 1700 kg en kwam in een baan tussen 795 en 805 km hoogte. Zij moest straling van sterren en nevels tussen 1000 en 4200 Å waarnemen. Het platform is 3 m hoog en 2 m in doorsnede. Het was voorzien van vier 20 cm-kijkers met kleurfilters en een 40 cm-nevelteleskoop. Verder waren er twee spektrometers, die waren uitgerust met een objektiefrooster. Helaas viel het radiokontakt tussen de OAO 1 en de aarde na een dag uit tengevolge van oververhitting der batterijen.

Ook waarnemingen van röntgenstraling van hemellichamen zijn van veel belang. Tijdens een vlucht met een Aerobee-raket in juni 1962, waarmee een geigerteller omhoog ging, vond men intense straling tussen 1 en 8 Å van een bron in het sterrenbeeld de Schorpioen. Latere vluchten toonden het bestaan van een twintigtal röntgenbronnen aan. Alle bevinden zich in de buurt van de melkweg. De sterkste is die in de Schorpioen, Sco-X 1, maar andere zijn die in de Zwaan (Cygnus X), in de Stier (de Krabnevel), Cassiopeia en de extra-galaktische nevel M 87. Sommige daarvan zijn ook sterke radiobronnen. Kortgeleden is Scorpius-X 1 geïdentificeerd. Voordat de röntgenstraling in de teller komt, wordt zij door een stelsel van twee groepen evenwijdige draden gevoerd. Is de bron puntvormig dan lopen de uit het oneindige komende röntgenstralen evenwijdig. De voorste draden kunnen de achterste in bepaalde standen van het apparaat beschaduwen (fig. 37). Roteert de stralingsapparatuur langzaam, terwijl ze de hemel aftast, dan ontstaat er door het beurtelings beschaduwen en doorlaten van de straling een modulatie in de ontvangen registrering. Zou de bron niet puntvormig zijn maar een groter oppervlak vertonen, dan vallen de stralen niet onderling evenwijdig in en dit reduceert de amplitudo van de modulatie. Door de gehele lengte van de raket voor dit apparaat te gebruiken en nog twee stelsels draden extra toe te voegen, bereikten Gursky en zijn medewerkers een oplossend vermogen van iets minder dan 1′. Tegelijkertijd fotografeerde een camera het deel van de sterrenhemel, dat door de röntgenapparatuur werd waargenomen (pl. XIII). Zo bleek, bij een vlucht op 8 maart

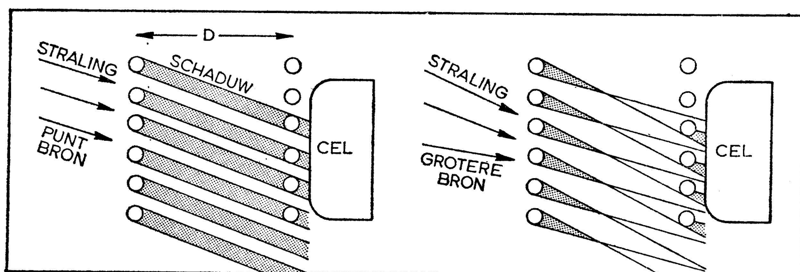


Fig. 37 Het schema van de stralingsdetektor, die Scorpius X identificeerde. Bij een puntbron (links) beschaduwen de draden elkaar in bepaalde standen, bij een bron met eindige grootte (rechts) is dat niet het geval, mits de afstand *D* der draden groot genoeg is.

1966, Scorpius-X 1 een stervormig objekt van de dertiende grootte. Ook de Krabnevel werd waargenomen op 7 juli 1964 toen de maan deze nevel bedekte. De raket steeg op gedurende de bedekking van het centrale deel van de nevel. Uit het afnemen van de geregistreerde röntgenstraling bleek, dat deze afkomstig was uit het centrale deel van de nevel, een gebied van ongeveer een lichtjaar grootte. Scorpius-X 1 is echter een ster, die meer dan 1000 keer sterkere röntgenstraling uitzendt dan zichtbaar licht. Het blauwachtige sterretje vertoont in haar spektrum emissielijnen van waterstof en helium. Er bestaan dus röntgensterren, want ook de röntgenbron Cygnus X2 bleek een sterretje te zijn.

Niet alleen stralingskwanta en gaswolken vullen de interplanetaire ruimte. Ook stofdeeltjes van allerlei grootte bewegen in Keplerse banen om de zon. Zijn die deeltjes groter dan 1 mm in diameter, dan spreekt men van *meteoroïden.* Zijn ze kleiner, dan heten ze *mikrometeoroïden.* De stofdeeltjes behoren voor het merendeel tot de laatste soort.

Behalve de aantrekkingskracht van de zon beïnvloeden nog allerlei andere verschijnselen het gedrag van die deeltjes in de ruimte. De elektromagnetische straling oefent een druk op ze uit, die in bepaalde gevallen sterker kan zijn dan de aantrekking van de zon. Heel kleine deeltjes worden met de zonnewind mee naar buiten geblazen van de zon af. De kleinst mogelijke diameter om in een cirkelbaan te kunnen blijven lopen, is 2,5 μ. Op grotere deeltjes is de invloed van het Poynting-Robertson-effekt (waar-

over wij hier niet verder zullen uitweiden) van belang, dat tot gevolg heeft dat zo'n deeltje naar de zon spiraleert tot het zo dicht bij de zon komt, dat het begint te verdampen. Daardoor vermindert de massa van het deeltje; misschien zal dan de stralingsdruk het ten slotte weer van de zon af doen bewegen.

Over de juiste dichtheidsverdeling van dit stof weet men nog niet zoveel. Er zijn aanwijzingen gevonden, dat de dichtheid om de aarde heen groter zou zijn dan op grotere afstand, maar de schattingen daarvan variëren. Ook de vorm en bouw van de mikrometeorieten zijn nog niet met zekerheid bekend.

De vele series metingen die zijn verricht, lopen sterk uiteen. Een aantal satellieten was uitgerust met mikrofoontjes, waarmee men het aantal inslagen I meet per m^2 en per sekonde door deeltjes groter dan m gram. De meeste gegevens kwamen overeen met de formule van Mc Cracken:

$$\log I = -17{,}0 - 1{,}70 \log m \qquad (19)$$

De vergelijking geldt in de buurt van de aarde en voor massa's tussen 10^{-10} en 10^{-6} gram. Pionier 1 wees met zijn tellingen op een afneming van de flux met toenemende afstand tot de aarde. Explorer 13 was de eerste kunstmaan speciaal om mikrometeoroïden te meten. Er waren twee mikrofoons aan boord, die geijkt waren op aarde, en verscheidene tellers bestaande uit met gas gevulde buisjes. Doorboort een meteoriet de wand van zo'n buis, dan ontsnapt het gas en wordt de drukvermindering geregistreerd. Explorer 16 had veel sukses met dergelijke apparaten. De waarnemingsresultaten (fig. 38) van de tellers liggen ver onder de gegevens van de mikrofoontjes. Men veronderstelde, dat de tellers alleen vaste deeltjes zouden aangeven, die slechts een klein gedeelte van het totale aantal micrometeoroïden zouden vormen. Waarnemingen van de veel helderder fotografische meteoren hadden ons reeds geleerd, dat veel van dergelijke deeltjes zeer broos zijn en gemakkelijk verpulveren. Die zouden dan net als de meeste mikrometeoroïden uit losse sneeuwachtige korreltjes bestaan, die niet in de cellen konden binnendringen. De mikrofoontjes zouden dan de echte totale flux registreren.

Nilsson heeft hier kortgeleden weer ernstige kritiek op geuit. Hij vond, dat de mikrofoontjes spontaan ruistoontjes kunnen gaan optekenen wanneer ze onderworpen worden aan langzaam

variërende temperaturen, zoals in satellieten optreden. Het ijken op aarde vond plaats bij konstante temperaturen en nu bleek aan Nilsson, dat bij variërende temperaturen schijnbaar geruis werd geregistreerd analoog aan het geruis dat optrad bij meteoorinslag. Ook traden er plotselinge veranderingen op in het aantal schijnbare seintjes. Dit zou veel waarnemingen van de afgelopen zeven jaar verklaren. De dichte wolk stofdeeltjes om de aarde zou dan niet bestaan.

In de interplanetaire ruimte zijn echter zeker veel stofdeeltjes. Uit waarnemingen van het zodiakale licht leidde Ingham af hoe groot deze deeltjes zijn en de verdeling over die verschillende grootten. Hij vond:

$$n(a) = 4 \times 10^{-26} \, a^{-4} \, da \qquad (20)$$

Het aantal deeltjes bedraagt dan 200 per km³ met een massa van 3×10^{-24} g/cm³.

Bij de proefvlucht met de Saturnus 1-raket in 1965 werd een begin gemaakt met een nieuw meteoorprogramma, het *projekt-Pegasus*. Op 11 februari 1965 werd de eerste Pegasus gelanceerd.

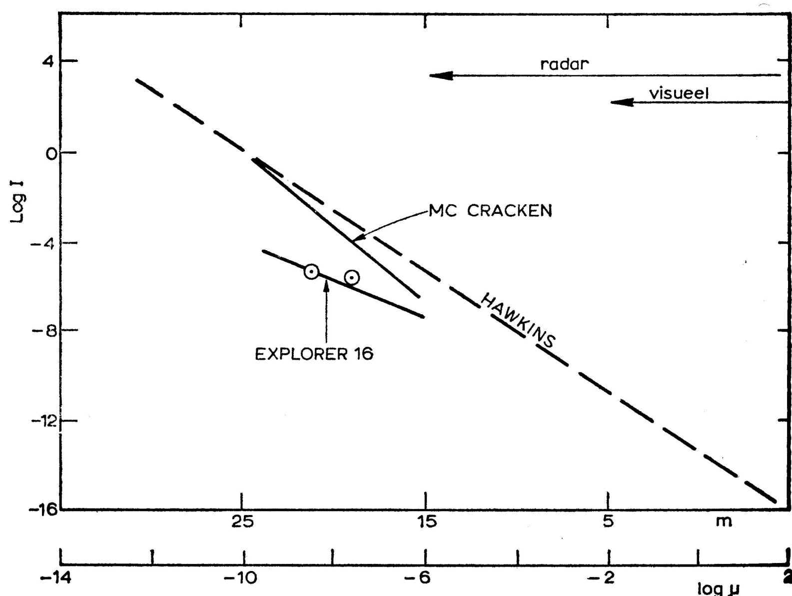


Fig. 38 Metingen van de meteoroid-flux *I* volgens Explorer 16, vergeleken met uit andere bronnen verkregen gegevens.

Zij kwam in een baan tussen 495 en 745 km hoogte (SA-9-vlucht, zie hoofdstuk XV). Deze reuzenschepnetten bestaan uit twee 30 m lange en 3 m brede vleugels, die door een elektromotor hoog boven de aarde uitgeklapt worden. Ze zijn van mylar en aangebracht tussen twee dunne metaallagen. Tussen deze twee metaallagen bestaat een potentiaalverschil; als een meteoroïde de vleugel treft, verdampt er materiaal waardoor een ontlading wordt veroorzaakt. Zodra dat dampvormige plasma in de ruimte is afgevloeid, wordt de vleugel weer opgeladen. Een pulsdetector meet de uitslag en zendt een signaal naar het geheugen. Op kommando vanaf de grond geeft dat later de getelde inslagen door. Pegasus 1 had verschillende paneeldikten, waaruit men de energie van de inslaande deeltjes zou kunnen afleiden. Op 25 mei 1965 werd met de SA-8 de Pegasus 2 omhoog gebracht, een verbeterde versie van de Pegasus 1. In de eerste 24 uur werden twee meteoroïden geteld. De tellingen van het dunne paneel van de Pegasus 1 bleken erg vruchtbaar te zijn, maar die van de dikkere voldeden minder. Op 30 juni 1965 volgde de Pegasus 3 (bij SA-10). Aan de vleugels droeg deze nog 48 aluminium panelen, die gemakkelijk los te maken zijn. Het is de bedoeling, dat astronauten ze later zullen loskoppelen en meenemen naar de aarde, nadat hun ruimteschip een rendez-vous met de op 520 km hoogte rondgaande meteoroïd-detector tot stand heeft gebracht. Uit de panelen wil men de invloed van meteoroïden op metalen bestuderen. Ze zijn dan ook met allerlei verschillende soorten materialen bedekt.

De resultaten van de drie Pegasus-satellieten zijn samen te vatten als volgt:

dikte der panelen	0,0375	0,2	0,4 mm
	aantal treffers		
bij Pegasus 1 tot 5 september	125		
bij Pegasus 2 tot 2 september	127	18	58
bij Pegasus 3 tot 8 oktober	71	14	41
	doorboringen per m^2 en per dag		
bij Pegasus 1 tot 5 september	0,12		
bij Pegasus 2 tot 2 september	0,19	0,015	0,004
bij Pegasus 3 tot 8 oktober	0,16	0,014	0,004

Waaruit bestaat dit interplanetaire gruis, hoe groot is het en hoe zwaar? Op deze vragen tracht de astronomie een antwoord te vinden door het boven de dampkring te verzamelen. Tijdens heftige sterrenregens dringen er niet alleen veel zichtbare meteoren de dampkring binnen, maar ook nog veel meer onzichtbare mikrometeorieten. Astronomen van Dudley Observatory trachten deze te verzamelen door middel van ballons en raketten. Ook bij de laatste Gemini-vluchten zijn monsters meegenomen. Van 1963 tot 1965 werden zeven speciale vluchten uitgevoerd met instrumenten, bestaande uit plaatjes, waarop de meteorieten werden gevangen als vliegen op een vliegevanger.

Bij later onderzoek op aarde bleek, dat bijna alle deeltjes onregelmatig van vorm waren; de gevangen aantallen kwamen goed overeen met de tellingen door de kunstmanen verricht. De massa der deeltjes was pas na konstruktie van zeer gevoelige speciale apparaten te meten en daaruit kon men met de gemeten grootte (over het algemeen enkele tientallen mikrons) de dichtheid bepalen. Die bleek bij een Perseïde 7,7 g/cm^3 te zijn, maar bij een Geminide veel minder (de waarden variëren van 2,0 tot 2,6 g/cm^3). Perseïden kan men in augustus, Geminiden in december als vallende sterren aan de hemel waarnemen. Het Perseïdendeeltje bleek magnetisch, de Geminiden vertoonden geen kristallijne struktuur. Beide zwermen zijn dus verschillend.

Voor allerlei geofysische doeleinden zijn vele soorten satellieten ontworpen. Het meest geperfektioneerd waren wel de OGO-*satellieten* (naar 'Orbiting Geophysical Observatory'). De eerste OGO op 4 september 1964 mislukte, omdat een der uitsteeksels zich niet ontvouwde, waardoor het stabilisatie-systeem niet werkte. Desondanks kwamen er waardevolle resultaten van 16 van de 20 experimenten, die zich grotendeels bezighielden met de stralingsgordels en het aardmagneetveld. De OGO 2 en de OGO 3, verbeterde uitgaven, werden een groter sukses. Deze kunstmanen gingen ook de belangrijke invloed na van de zonnestraling op de omgeving van de aarde.

dertiende hoofdstuk

venus bergt nog vele raadselen

Venus, de morgen- of de avondster – Feiten en raadsels rond Venus – Wolken of oppervlaktedetails? – De aswenteling van Venus – De samenstelling van de dampkring – De aard van de bewolking – Polarisatie – Temperatuurmetingen en hun problemen – Modellen van de Venus-atmosfeer – De eerste Venus-verkenners – De Mariner 2 – De tocht door het zonnestelsel – De massa van Venus – Het juiste atmosferische model – Magneetvelden bij Venus – De eerste landing op Venus – Nieuwe tochten in 1967.

Soms is de planeet Venus gedurende enkele maanden een prachtig objekt aan de avondhemel. Zo'n avondster trekt nog veler aandacht, omdat wij een laagstaand helder hemellicht gemakkelijk opmerken in een tijd, waarin we meer gewend zijn voor ons uit dan omhoog te zien.

De baan van deze planeet heeft slechts een zeer geringe excentriciteit (fig. 8). In 225 dagen loopt zij een keer om de zon op kleinere afstand van de zon dan de aarde. Zo'n binnenplaneet kan zich nooit zo ver van de zon verwijderen. Trekken we in gedachten de verbindingslijnen Venus-aarde-zon, dan vormen deze een hoek met elkaar, die men de *elongatie* van Venus noemt. Is die voldoende groot, dan bevindt Venus zich ver genoeg van de zon om waargenomen te kunnen worden. Staat Venus, vanuit de aarde gezien, rechts van de zon, dan is haar elongatie westelijk. De planeet komt nu voor de zon en is 's morgens aan de ochtendhemel te zien als de bekende morgenster. Bevindt ze zich daarentegen links van de zon dan is haar elongate oostelijk en is ze avondster.

Evenals van sommige andere hemellichamen begon ook van de planeet Venus onze kennis bij Galilei, die in 1610 waarnam, dat de planeet evenals de maan schijngestalten vertoonde. Cassini zag in 1667 een lichte vlek op het oppervlak van Venus en uit de verplaatsing daarvan leidde hij een omwentelingstijd van bijna 24 uur af. Velen zijn hem hierin gevolgd met sterk uit-

eenlopende resultaten. Omlooptijden van allerlei duur werden gevonden en de schetstekeningen van de details van het oppervlak van de planeet tonen de meest grillige variaties. In een kijker is de Venusschijf helder wit en velen twijfelen aan de realiteit van de vage schaduwen, die enkele vakmensen en amateurs daarop menen te zien. De details van de oppervlakte zijn vaag en sterk veranderlijk. Het is onmogelijk hun posities goed te bepalen en bovendien veranderen zij zo snel van vorm, dat het bijna nooit voorkomt dat men een bepaalde vlek meer dan twee of drie achtereenvolgende dagen kan terugvinden.

Meer betrouwbare inlichtingen kregen we uit het werk van Ross, die op de Mount Wilson Sterrewacht in 1927 een uitstekende serie foto's van Venus wist te maken in violet licht door het gebruik van passende filters. Op golflengten korter dan 3700 Å zijn vlekken zichtbaar met vage contouren (pl. XIV), maar die verdwijnen al bij 4200 à 4300 Å. Dit werk is onlangs herhaald op de Franse Sterrewacht op de Pic du Midi in de Pyreneeën met een 60 cm-reflektor; ook nu bleek, dat het onmogelijk is om bepaalde details op deze ultraviolette opnamen langer dan enkele dagen te volgen. Bepaalde contouren vervagen spoedig en veranderen ingrijpend van vorm. Dollfus, die tien jaar lang Venus waarnam door allerlei kijkers en met vele soorten filters, meent dat een hoge wolkenlaag ons meestal het uitzicht op de diepere lagen van de atmosfeer belemmert. Af en toe zien we er echter doorheen en dan verschijnen de lager liggende wolkenmassa's of mogelijk ook de vage omtrekken van de werkelijke oppervlaktedetails. Het onbestendige uiterlijk en de korte levensduur van de ultraviolette details wijzen in ieder geval op atmosferische verschijnselen en het is dan ook een waagstuk om hieruit de rotatietijd van de planeet af te leiden. De vroeger wel eens geopperde veronderstelling van exorbitant hoge bergen, waarvan de steile spitsen af en toe door de wolken zouden heensteken, moet vrijwel zeker naar het rijk der fabelen worden verwezen.

De tijd waarin Venus een aswenteling volbrengt, is eeuwenlang een omstreden vraagstuk in de sterrekunde geweest. De schattingen lopen uiteen van 24 uur tot 225 dagen. In het laatste geval keert de planeet steeds dezelfde kant naar de zon toe en men spreekt dan van een *gebonden rotatie*. Uit de vage vlekken kan men

onmogelijk de rotatieduur bepalen. Een andere mogelijkheid is spektra te maken met de spleet van de spektrograaf over het planeetschijfje heen van de ene rand naar de andere. Nadert ons nu de ene rand en verwijdert de andere rand zich van ons, dan zal een spektraallijn tengevolge van het dopplereffekt aan de ene kant naar het violet en aan de andere kant naar het rood zijn verschoven. In het midden is de lijn niet verplaatst en naar de rand neemt de verplaatsing toe, omdat naarmate we dichter bij de rand komen ook een grotere komponent van de rotatiesnelheid naar ons toe of van ons af is gericht. Bij Venus laat deze methode, die bij Jupiter en Saturnus uitstekende resultaten geeft, ons volkomen in de steek, hetzij omdat wij blijkbaar tegen de pool van de planeet aankijken (wat onwaarschijnlijk is) of (en dit is waarschijnlijk de oorzaak) omdat de rotatie zo langzaam verloopt, dat de verplaatsing te gering is. Voor een lijn waarvan de golflengte λ bedraagt bij een stilstaande lichtbron is de verplaatsing:

$$\Delta\lambda = v\,\lambda : c \qquad (21)$$

waarin v de snelheid en c de lichtsnelheid is. Is v klein dan is $\Delta\lambda$ ook klein. De waargenomen dopplerverplaatsing is echter ook direkt evenredig met de golflengte van de gemeten lijn. Zou men dus zeer lange golflengten gebruiken, dan zou het misschien mogelijk zijn een verplaatsing te meten. Venus zendt echter niet dergelijke lange golven uit. Daarom probeerde men het sinds 1961 met radar. Een gerichte elektromagnetische golf van omstreeks tien cm golflengte wordt op Venus gericht en het door de planeet teruggekaatste signaal wordt opgemeten. Door het dopplereffekt ontstaat een verbreding van de frekwentieband van de radar. Zo vond in 1962 het Jet Propulsion Laboratory een rotatieduur van 250 dagen. Tevens bleek de planeet retrograad te roteren, d.w.z. niet van west naar oost zoals de aarde, maar andersom. Waarnemingen met de grote radioteleskoop van Puerto Rico en van het Goldstone Station in Californië preciseerden en bevestigden die resultaten: Venus roteert retrograad in omstreeks 248 dagen.

Reeds de vage vlekken, die aan wolken worden toegeschreven, wijzen er op, dat de planeet door een dichte atmosfeer van grote uitgestrektheid wordt omgeven. In grote instrumenten ziet men,

als Venus haar sikkelvorm vertoont, een schemeringsgordel van op zijn minst 1 km langs de donkere grens van de terminator, veroorzaakt door nog door de zon verlichte lagen in de dampkring. Tevens zijn de horens van het sikkeltje verlengd; zij beslaan een boog van meer dan een halve cirkel, ook al tengevolge van de verlichte atmosfeer, nu in de poolstreken. Bij overgangen van Venus voorbij de zon ziet men vlak voor het begin of vlak na het einde een volledig verlichte ring. De Venusatmosfeer treedt dan zo duidelijk aan het licht, dat zelfs de refraktie er in te schatten valt.

Men heeft zich afgevraagd, waaruit die atmosfeer wel zou bestaan en in het spektrum van de planeet gezocht naar eventuele bestanddelen. Het probleem hierbij is, dat ook de gassen uit onze dampkring er hun sporen in achterlaten. Dat maakt het vanaf het aardoppervlak moeilijk bepaalde in onze atmosfeer aanwezige gassoorten bij Venus te identificeren. Alleen door gebruik te maken van het dopplereffekt, als de planeet tengevolge van haar beweging om de zon een grote snelheidskomponent in de gezichtsrichting vertoont, kan men met kans op sukses naar gassen in de atmosfeer van de planeet zoeken. Op deze wijze is men er tenslotte in geslaagd een aantal banden van koolzuur in het infrarood te vinden bij 8000–9000 Å.

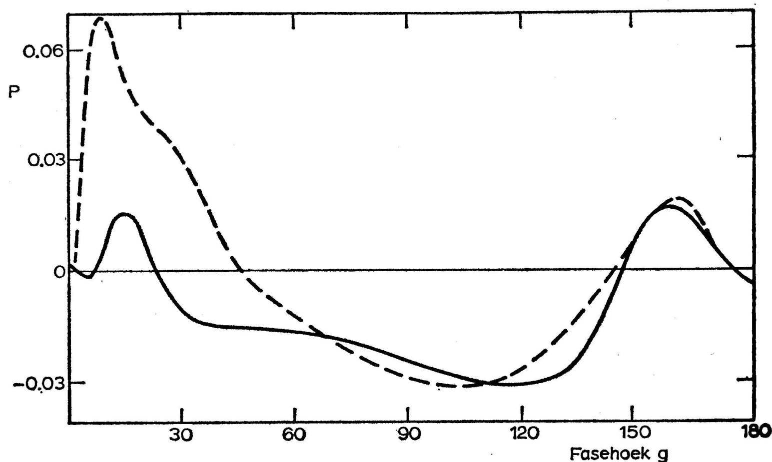


Fig. 39 Polarisatiegraad van Venus bij verschillende fasehoeken, vergeleken met waterdruppeltjes (streepjeslijn).

Die atmosfeer bestaat dus voor een deel uit koolzuur en is gevuld met een dichte bewolking. Het is echter moeilijk te zeggen, waaruit die wolken bestaan. Kuiper dacht aan stofjes, anderen suggereerden kleine kristalletjes koolzuursneeuw. Urey en Dollfus hielden het op waterdruppeltjes, vooral omdat de polarisatie (fig. 39) van de planeet bij verschillende fasehoeken (hoeken zon-planeet-aarde) een verloop vertoont, dat grote overeenkomst heeft met waterdruppeltjes met een diameter van 2,5 μ. De aanwezigheid van waterdamp in het spektrum was niet zo gemakkelijk aan te tonen.

De laatste tijd zijn er twee programma's ontwikkeld om naar waterdamp te zoeken. Het ene in de Verenigde Staten door Strong en Ross, die met een grote plastic ballon een waarnemer met een kijker van 40 cm diameter omhoog willen brengen tot boven de aardse waterdamp (projekt-Stratolab). Het andere in Frankrijk, waar Dollfus een metalen kabine omhoog wil brengen, waarop een kijker van 50 cm is gemonteerd. De kabine wordt omhooggedragen door 100 ballons, die in groepen van drie aan een lange kabel zitten. Iedere ballon kan wel tot tien à twintig maal zijn aanvankelijke grootte opzwellen. Reeds op 22 april 1959 werd een eerste poging ermee ondernomen. Zo wil men in een sterke waterdamplijn (bijv. bij 1,4 μ golflengte) boven de aardse dampkring naar water bij Venus zoeken.

Over het meten van temperaturen bestaat dikwijls een groot misverstand. Wanneer de astronomen de temperatuur op een bepaald hemellichaam meten, doen ze dat door de straling te registreren, die de ster of de planeet ons toezendt. Bij een planeet dient men er voor te zorgen, dat de gemeten straling afkomstig is van de planeet zelf en niet direkt teruggekaatst zonlicht is. Zo'n meting geschiedt in een bepaald golflengtegebied, dat vaak door middel van een filter wordt geïsoleerd. Wanneer men dan het vaste oppervlak van de planeet waarneemt en daarvan de straling meet, zou men misschien verwachten, dat zo'n meting in ieder golflengtegebied een gelijke uitkomst geeft. Dat is echter niet zo, want het blijkt, dat de straling niet bij iedere golflengte van dezelfde oppervlaktelaag afkomstig is.

Bij Venus is het nog ingewikkelder, want de atmosfeer belet ons tot op het vaste oppervlak te zien en niet iedere stralingsmeting zal betrekking hebben op hetzelfde niveau in de dampkring. Zo is

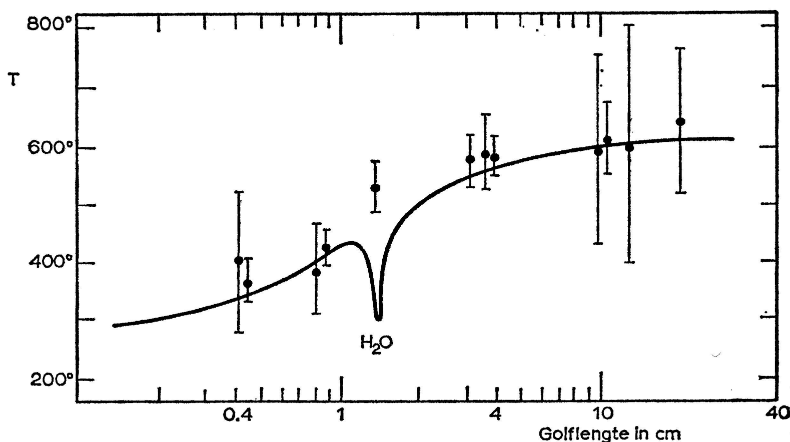


Fig. 40 Temperatuurmetingen van Venus in het radiogebied bij verschillende golflengten.

het mogelijk, dat diverse metingen tot zeer uiteenlopende resultaten leiden (fig. 40). Hoewel de spreiding der individuele metingen groot is, kan men er toch niet aan twijfelen, dat de verschillen het gevolg zijn van het feit, dat de gemeten temperaturen betrekking hebben op verschillende lagen in de dampkring; zij stellen ons in staat iets te zeggen over het verloop van de temperatuur in die atmosfeer. Theoretisch zal men nu dienen te onderzoeken, hoe deze is opgebouwd, om een zo volledig mogelijke overeenstemming te krijgen met de waarnemingsgegevens. Het is in ieder geval duidelijk, dat het onmogelijk is een enkelvoudig antwoord te geven op de vraag: 'welke temperatuur heeft Venus?' Men dient onderscheid te maken tussen de temperatuur op het planeetoppervlak en het temperatuursverloop in de atmosfeer.

Voordat de ruimtevaart ons wijde perspektieven opende voor het onderzoek van deze verre wereld, bestonden er in hoofdzaak twee opvattingen over de bouw van de atmosfeer van Venus, die beide in staat waren het merkwaardige verschil dat tevoorschijn kwam bij diverse temperatuursmetingen te verklaren. Het eerste model zou men het 'ionosfeermodel' kunnen noemen (fig. 41), het andere het 'hete oppervlakte'- of 'broeikasmodel' (fig. 42).

De eerste opvatting gaat uit van het denkbeeld, dat de planeet omringd wordt door een atmosfeer, waarin zich, net als in de

dampkring van de aarde, op grote hoogte een of meer geïoniseerde lagen bevinden. Deze ionosfeer zou een temperatuur bezitten van 550° à 800° K en dat verklaart de door de radiowaarnemers gevonden hoge temperaturen. De infraroodmetingen zouden dan afkomstig zijn van dieper gelegen atmosferische lagen of van het vaste oppervlak, waar niet zo'n hoge temperatuur zou heersen; en zo begrijpt men, waarom Sinton met zijn radiometer

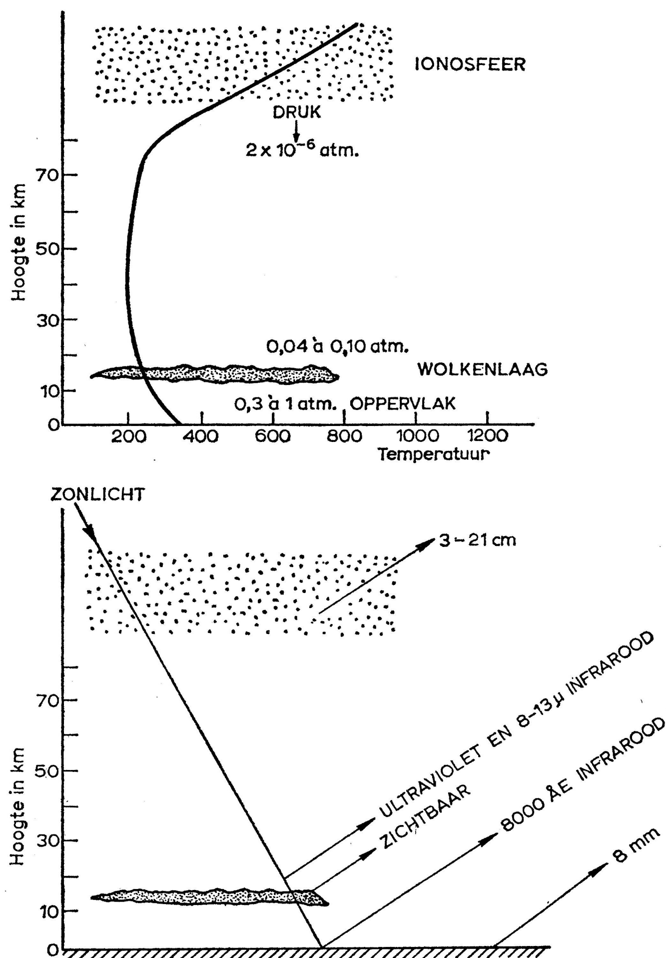


Fig. 41 Het ionosfeermodel van de atmosfeer van Venus volgens Sagan. Boven: het verloop van de temperatuur met de hoogte; onder: de gang van verschillende soorten zonnestraling en de diepte waarin zij in de atmosfeer doordringt.

niet meer dan 230° registreert. Het verblijf op het oppervlak van Venus zou in dit geval voor ons aardbewoners zeer goed mogelijk zijn, hoewel men moet betwijfelen of het er zo behagelijk warm

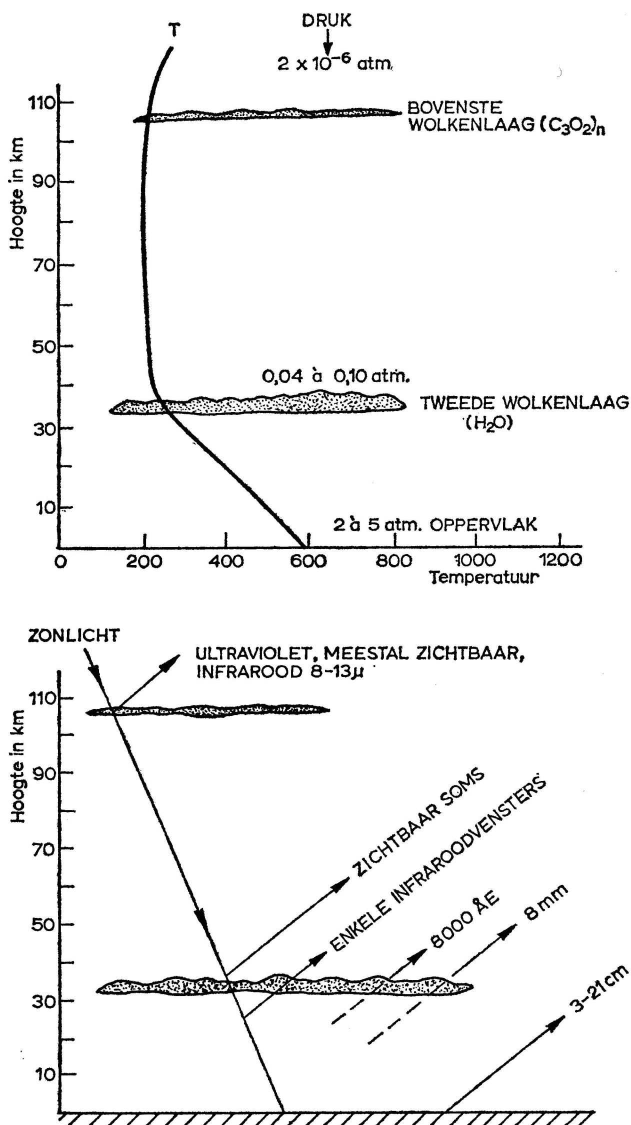


Fig. 42 Het broeikasmodel van de atmosfeer van Venus volgens Sagan. Boven: het verloop van de temperatuur; onder: de gang van de zonnestraling.

zal zijn als bij ons in de tropen. Een probleem blijft nog, hoe het mogelijk is van zo'n door een ionosfeer omgeven planeet heldere radio-echo's te ontvangen, maar als we aannemen, dat de ionosfeer aan de nachtkant verdwijnt (net als bij de aardse F 1-laag), is dit ook te begrijpen.

Het broeikasmodel neemt aan, dat de metingen bij langere golflengten juist dieper doordringen in de Venusatmosfeer dan de metingen bij kortere, juist zoals in de maanbodem. Straling bij golflengten van 2 à 3 cm en langer zou zelfs van het oppervlak afkomstig zijn; dat moet dan een temperatuur van omstreeks 600° hebben, ver boven het kookpunt van water. De straling van 0,4 tot 1 cm komt uit de atmosfeer, terwijl de infrarode straling uit de hogere niveaus van de Venusdampkring stamt, die voor de kortere golflengten bijna volkomen ondoorzichtig is door haar uitgebreid wolkendek.

Leek het er aanvankelijk op, dat een keus tussen beide modellen zeer moeilijk zou zijn te maken, na enig nadenken kwam men tot de slotsom, dat het mogelijk is een waarneming te bedenken, die ondubbelzinnig een van beide modellen zou uitsluiten. Het is eenvoudig voldoende, na te gaan hoe de straling van het midden naar de rand van het planeetschijfje verandert. Speciaal in het radiogebied moet men nagaan of de straling van centrum naar rand toeneemt of afneemt. In het eerste geval hebben we met het ionosfeermodel te maken, want naarmate we verder naar de rand komen, ontvangen we straling van een uitgebreider deel van de ionosfeerlaag. Deze straling is onverzwakt, doordat de ionosfeer aan de buitenkant van de dampkring ligt. Bij het broeikasmodel echter neemt de weg, die de straling door de atmosfeer moet doorlopen toe, als we dichter bij de rand kijken, omdat ze de atmosfeer schuin doorloopt. De absorptie neemt dus toe en we nemen dan randverzwakking waar (net als bij de zon). Uitgaande van het centrum van de schijf verwachten we voor het verlichte deel bij model A randverheldering en bij model B randverzwakking (fig. 43). De proef was echter niet te nemen!

Onze radio-instrumenten hebben een veel te gering oplossend vermogen om deze uit te voeren. Kunnen we met een gewone kijker Venus als een schijfje zien en eventueel ook verschillende punten van dat schijfje onderzoeken, de grootste radio-antennes kunnen nog slechts met moeite de planeet als afzonderlijk emissie-

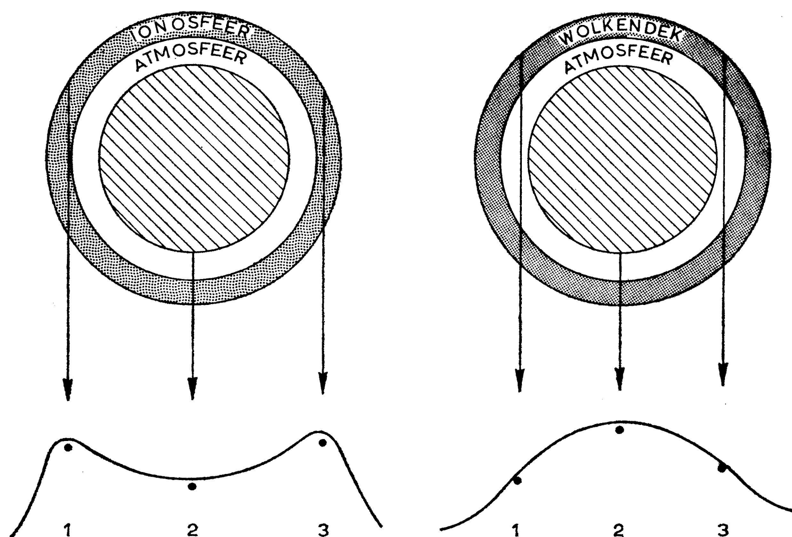


Fig. 43 Het verschil tussen ionosfeermodel en broeikasmodel bij Venus is, dat bij het eerste model de straling van lange golflengten naar de rand van de planeetschijf toeneemt, terwijl die bij het tweede model juist afneemt. De metingen van Mariner 2 wezen duidelijk op het bestaan van randverzwakking.

centrum identificeren, laat staan dat zij in staat zijn de straling van aparte punten te meten.

Het eenvoudigst zou zijn een radiokijker dichter naar Venus te brengen met een ruimteschip. Het reizen naar Venus is geen eenvoudig probleem. Wij zagen in hoofdstuk III, dat een tocht naar Venus ongeveer 146 dagen duurt langs een Hohmann-baan. Brengt men het ruimteschip in een baan met een kleinere halve lange as, dan wordt de reisduur korter. Dan zal echter ook de snelheid waarmee het ruimteschip vanaf de aarde vertrekt, groter moeten zijn. In de tijd, waarin de verkenner zich naar Venus spoedt, moet de planeet zich ook naar het ontmoetingspunt begeven. Er is daarom slechts een beperkt aantal dagen, waarop, met onze huidige middelen, een lancering naar Venus kan plaatsvinden. Alleen als de aarde en Venus zich in een geschikt deel van hun baan bevinden, kan het vertrek worden vastgesteld. Deze periode herhaalt zich om de 584 dagen (de synodische omlooptijd van Venus).

Een eerste dergelijke situatie, waarvan geprofiteerd kon wor-

den, deed zich omstreeks februari 1961 voor. Waarschijnlijk ondernamen de Russen toen twee pogingen om ruimteschepen naar Venus te zenden (zie hoofdstuk v). Op 25 augustus 1962 lanceerden zij weer een raket, die een Spoetnik in een baan om de aarde bracht tussen 175 en 250 km hoogte. Op 1 september volgde een soortgelijke lancering, die waarschijnlijk ook bedoeld was om een tocht naar Venus uit te voeren. In beide gevallen is de Spoetnik wel in een baan om de aarde gekomen, maar het opnieuw starten van de raket om de tocht naar Venus uit te voeren, mislukte of geschiedde niet in de juiste richting. Beide lanceringen zijn van officiële Russische zijde nooit toegegeven en zij behoren nog steeds tot de raadselachtige problemen uit de ruimtevaartgeschiedenis.

Dat opnieuw starten van de raket is onvermijdelijk. Om het ruimteschip in de juiste richting weg te schieten, moet de lancering op een geschikte plaats op aarde gebeuren en iedere dag is er op zo'n plaats een tijdsinterval van een aantal minuten, binnen welk interval de lancering moet plaatsvinden. Door het ruimteschip eerst in een baan om de aarde te brengen, kan men de lancering vanuit die baan op het juiste moment en op de juiste plaats uitvoeren. Zo is de reis van de Mariner 2 op 27 augustus 1962 begonnen, nadat de lancering van de Mariner 1 op 22 juli 1962 was mislukt, omdat de draagraket in de verkeerde richting draaide.

De lancering van het ruimteschip, dat 65 miljoen gulden gekost had, vond plaats met een Atlas-Agena B-raket. Deze bracht de Mariner in zes minuten naar 184 km, waar ze 16 minuten in een deel van een baan om de aarde liep. Toen werd de Agena opnieuw gestart en deze voerde de snelheid op. Een springlading scheidde de Agena van het ruimteschip en de Mariner vervolgde haar baan als een kunstplaneet. Enige tijd later, 44 minuten na de start, werden de zonnepanelen met hun 9800 zonnecellen uitgeklapt en op de zon gericht, en daardoor kon de sterkte van de radiozender worden opgevoerd. Na een week werd een op de aarde gerichte speciale antenne in gebruik gesteld, terwijl de instrumenten reeds op 27 augustus in werking waren gesteld. De baan werd gekontroleerd door cellen, die op de zon en aanvankelijk ook op de aarde gericht waren. Hoewel dit systeem goed werkte, zou het toch bij volgende Mariners worden vervangen

door een cel, die op een heldere ster is gericht. Op 5 september volgde een baankorrektie met een raketje met een stuwkracht van ca. 20 kg, die de snelheid vermeerderde en de baan verbeterde.

De Mariner zelf was 3 m hoog, zeshoekig van vorm en woog omstreeks 200 kg. Voor het uitklappen van de zonnepanelen en tijdens de baankorrektie werd de energie geleverd door een zilver-zink-batterij. Tien kleine raketjes regelden de juiste stand van het ruimteschip. Zij werkten op samengeperst stikstofgas en werden bestuurd door drie gyros. Door passende isolaties werden de computer en het richtings-kontrolesysteem op juiste temperatuur gehouden. De Mariner bevatte instrumenten voor zeven wetenschappelijke experimenten, waarvan vijf bestemd waren om zowel in de interplanetaire ruimte als in de omgeving van Venus uitgevoerd te worden, terwijl twee alleen maar op Venus betrekking hadden.

Op 27 augustus verloor de Mariner zijn oriëntatie op de zon en de aarde gedurende drie minuten. Waarschijnlijk trof een mikrometeoriet het ruimteschip. Drie grondstations volgden het voortdurend: Goldstone in Californië, Woomera Village in Australië en Johannesburg in Zuid-Afrika. Dit laatste was in het bezit van een mobiele eenheid om de Mariner te volgen als deze te laag zou staan voor de antennes van het station zelf.

De rest van de reis verliep ook niet geheel zonder incidenten. Op 8 september verloor de Mariner opnieuw plotseling de zon uit het oog. Het ruimteschip richtte zich echter weer in haar juiste positie en er kwamen moeilijkheden met de op de aarde gerichte antenne. Voor er vanaf de aarde kommando's gezonden konden worden om de situatie meester te worden, gaven de radioseinen aan, dat de normale toestand weer hersteld was. Waarschijnlijk waren hier weer meteoriettreffers aan het werk geweest. Later (31 oktober) trad er kortsluiting op in een van de zonnecellen en moesten de instrumenten buiten werking worden gesteld. Acht dagen later was de kortsluiting opgeheven en konden de metingen worden hervat. De moeilijkheden herhaalden zich op 15 november, maar intussen was de Mariner zoveel dichter bij de zon, dat een der panelen reeds voldoende energie leverde, zodat het andere met de kortsluiting erin buiten werking kon worden gesteld.

Aan boord waren instrumenten om de intensiteit en de distri-

butie van geladen deeltjes en van mikrometeoroïden te meten. Nog nooit tevoren waren zo langdurige metingen op zulke grote afstanden van de aarde verricht. De kosmische straling werd geregistreerd door drie in alle richtingen gevoelige detectors, een ionisatiekamer en twee geigertellers, en een voor een bepaalde richting gevoelig meetapparaat. De twee geigertellers bepaalden de aantallen deeltjes om de 7,4 minuten en deden meer dan 10000 metingen tijdens de reis. Het zonneplasma werd gemeten in tien verschillende energie-intervallen. In minder dan vier minuten kreeg men een volledig energiespektrum van het plasma; er werden 40000 van dergelijke spektra vervaardigd.

Tijdens de vlucht werd de zonnewind voortdurend geregistreerd. Alle 40000 spektra laten zien, dat het zonneplasma regelmatig radieel uit de zon stroomt. De snelheid ervan ondergaat herhaalde fluktuaties. De metingen vertonen een 27-daagse periode in overeenstemming met de aardse geomagnetische index. De magnetische veldlijnen worden door het plasma meegevoerd. Men spreekt dan van ingevroren magnetische veldlijnen; de variatie in de snelheid leidt tot een sterke deformatie van de veldlijnen, zodat het moeilijk is uit de gemeten magnetische veldsterkte na te gaan, hoe de oorspronkelijke veldverdeling zou zijn geweest. De magnetometer in de Mariner bepaalde de magnetische flux in drie loodrecht op elkaar staande richtingen. Het instrument kon velden tot 4 γ ontdekken in ieder van die drie richtingen (het aardveld aan de evenaar is 30000 γ).

Bij rustige zon werden velden van 2 tot 5 γ gemeten, maar fluktuaties van 10 tot 20 γ zijn zeer gewoon. Op 23 en 24 oktober werd duidelijk kosmische straling van de zon geregistreerd. Het aantal geladen deeltjes nam met een faktor 5 toe. Hoofdzakelijk protonen met een energie van 25 MeV waren hiervoor verantwoordelijk. Bij zeven andere gelegenheden lieten de gerichte detectors een kleinere vermeerdering van straling zien van minder energierijke deeltjes. Tussen een paar honderd en duizend eV zijn de deeltjes talrijk. Ongeveer 100 miljoen treffen per sekonde een cm². Tussen 0,5 en 10 MeV zijn er gewoonlijk zeer weinig protonen, maar soms veel meer. Tussen 10 en 800 MeV zijn er haast helemaal geen deeltjes, behalve tijdens erupties op de zon. Boven 800 MeV vindt men alleen echte kosmische straling en het aantal zeer energierijke deeltjes neemt snel af.

Na de baankorrektie naderde de Mariner Venus in een ellipsbaan met een $e = 0{,}192$ en een helling $i = 1{,}85°$ en als Venus haar niet gestoord had, zou zij op 7 januari door haar perihelium zijn gegaan. In de loop van 14 december naderde zij de planeet. De afstand tot de planeet verminderde snel (fig. 44). Op 14 december om 13^h39^m werd de radiometer in werking gesteld op kommando vanaf de aarde. Deze was tevoren geijkt door de temperatuur van de hemel ver van Venus en de zon te meten.

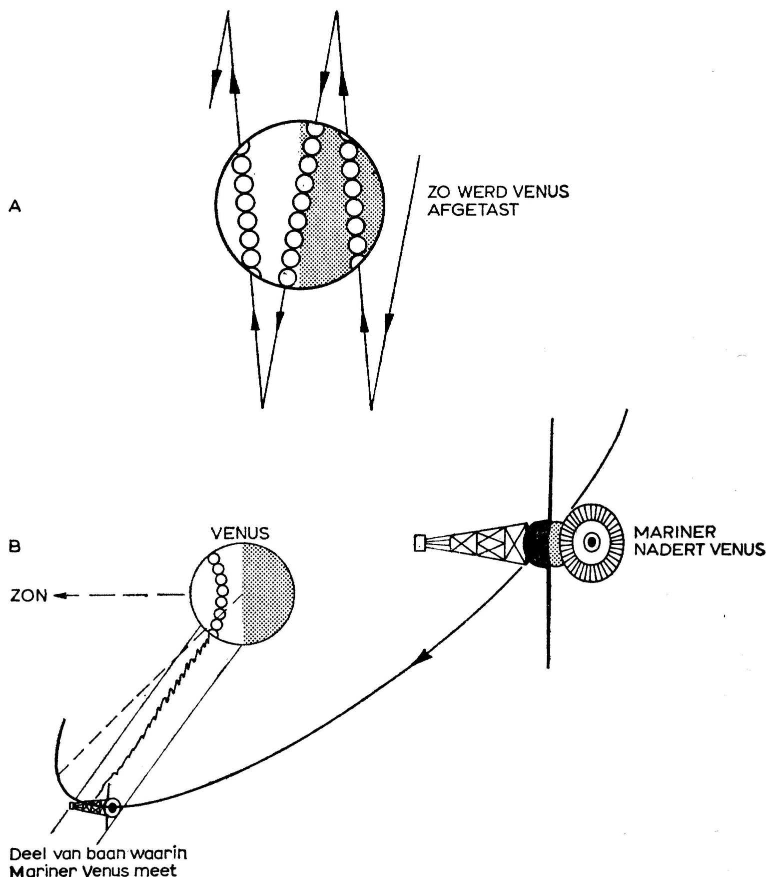


Fig. 44 A. De manier, waarop de antennebundel van Mariner 2 Venus aftastte toen B. Mariner 2 Venus op 14 december 1962 passeerde (gezien vanaf de aarde). De planeet bevond zich binnen de bundel van de radiometers van 19^h tot 19^h45^m in het aangegeven deel van de baan.

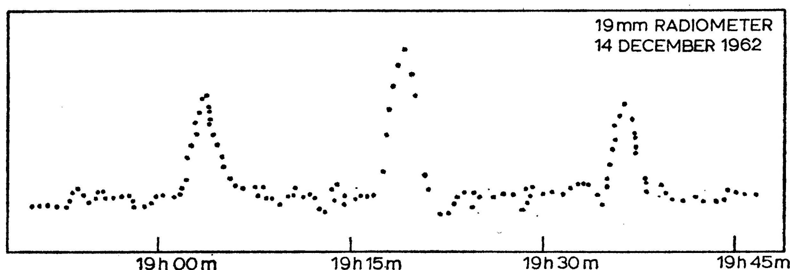


Fig. 45 Metingen van de Mariner 2 van Venus. Drie keer tastte de radiometer de planeet af, de andere meetpunten zijn de ruis van de hemelachtergrond.

De radiometer bestond uit een parabolische antenne van 20 cm diameter, die over een hoek van 120° kon draaien met een snelheid van 0,1° per sekonde. Zij werkte op twee golflengten, 13,5 en 19 mm. De gemeten straling van Venus werd afgewisseld met metingen uit de ruimte, 60° van Venus. Het verschil werd geregistreerd en naar de aarde geseind (fig. 45). De golflengten zijn zorgvuldig gekozen: 13,5 mm wordt niet door waterdamp tegengehouden, 19 mm wel.

De Mariner passeerde onder 30° de Venusbaan (fig. 44) langs de verlichte kant van de planeet. De lijn, waarlangs de radiometer de planeet aftastte, stond bijna loodrecht op de lijn zon-Mariner. De antenne was 42 minuten op de planeet gericht en ging er in die tijd drie keer over (fig. 44). In die tijd is achttien keer een reeks metingen van de radiometer verzameld en wel: vijf keer bij de eerste overgang op ongeveer 46400 km van het middelpunt van Venus, acht keer bij de tweede overgang, 43900 km van Venus, en vijf keer bij de laatste overgang, 42100 km van de planeet. De geschatte fout in de metingen is 15 procent. Een uur na het passeren van Venus werden de instrumenten automatisch uitgeschakeld.

De metingen van de radiometers waren voor een analyse van de bouw van de atmosfeer het belangrijkst. Men moet de gemeten waarde nog korrigeren voor allerlei storende effekten, zoals de tijdkonstante van de meter (uit de ijkingen te bepalen), de diameter van de antennebundel (voor het vertrek reeds gemeten), de absorptie in de atmosfeer van Venus voor het feit, dat Venus niet als een volkomen natuurkundig zwart lichaam straalt, vol-

gens de daarvoor geldende wetten. De metingen laten een duidelijke randverzwakking zien en spreken daardoor hun veto uit over het ionosferische model. Ook het ontbreken van een meetbaar magneetveld (waarover straks) maakt dat zeer onwaarschijnlijk. De randverzwakking is in overeenstemming met een model, dat aanneemt dat diep in de atmosfeer of aan het oppervlak van de planeet een hoge temperatuur heerst van omstreeks 450° C.

Een interessant resultaat van de tocht is een verbeterde bepaling van de *massa* van Venus. Seinen vanuit het station Goldstone in Amerika werden door de Mariner teruggezonden, waardoor een dopplerverplaatsing in de frekwentie ontstond als gevolg van de snelheid van het ruimteschip ten opzichte van de aarde. Door die verplaatsing te meten kon men de snelheid van de Mariner berekenen. Het bleek nu, dat de massa van de planeet Venus een verandering in de snelheid veroorzaakte van 4800 km/h. Hieruit berekent men de Venusmassa op 0,81485 aardmassa's met een waarschijnlijke fout van 0,015 procent. Tot voor dit moment gold als beste een door Rabe in 1954 uit Erosstoringen berekende massa van 0,82.

Opzij van de radiometer bevond zich in de Mariner een infraroodradiometer. Deze bestond uit een dubbel waarnemingssysteem. Een hiervan nam Venus waar, de andere was onder een hoek van 45° naar de ruimte gericht. Het verschil van beide metingen werd geregistreerd. Door filters werden waarnemingen in twee golflengten verricht, namelijk tussen 8 en 9 μ en van 10 tot 108 μ. Het eerste gebied wordt door de wolken tegengehouden, het tweede door koolzuurgas. Als er doorzichtige plaatsen in het wolkendek zijn, dan zou de eerste straling veel dieper in de atmosfeer moeten doordringen. Er werden geen openingen in het wolkendek gevonden. Voor de hoogte van de wolken vond men 60 km en voor de dikte van de laag 24 km. De bovenkant had een temperatuur van — 50° C, het midden — 35° C en de onderkant 95° C. Boven de wolken is geen koolzuurgas. Op het zuidelijk halfrond vond men een 10° koelere plek.

Reeds vroeger waren er pogingen in het werk gesteld om het magnetisch veld van Venus te ontdekken. Onze landgenoot Houtgast stelde voor te gaan zoeken naar veranderingen in de aardse index van de geomagnetische aktiviteit bij bepaalde stan-

den van Venus. Als Venus in benedenkonjunktie juist tussen zon en aarde staat, zou het magneetveld van de planeet de stromen korpuskula van de zon kunnen afbuigen en tegenhouden, zodat een teruglopen van de geomagnetische aktiviteit zou moeten worden gekonstateerd. Uit waarnemingen van 1884 tot 1953 (waarin 44 benedenkonjunkties vielen) kwam Houtgast tot de konklusie, dat Venus een vijfmaal zo sterk magnetisch veld moest bezitten als de aarde met gelijke polariteit. Ook Sucksdorf vond aanwijzingen voor een meetbaar magneetveld bij Venus.

De Mariner 2 bevestigde dit echter niet. In ieder geval zal een eventuele magnetosfeer zich niet tot 40 000 km uitstrekken en het dipoolmoment is minder dan 18 procent van dat van de aarde volgens de metingen der geladen deeltjes en minder dan 10 procent volgens de metingen van de magnetometer. Ook werd er geen koncentratie van veel stofdeeltjes gemeten bij Venus, zoals om de aarde wel werd gevonden (hoewel sommigen de juistheid daarvan betwijfelen). Ook de maan heeft geen merkbaar magneetveld en dat zou er op kunnen wijzen, dat de aanwezigheid van zo'n veld met de draaisnelheid van een planeet verband zou kunnen houden. Venus en de maan draaien zeer langzaam; de rotatie van de aarde is veel sneller. Ook de snel draaiende Jupiter vertoont aanwijzingen voor een magnetosfeer.

Voorlopig bergt Venus nog vele raadselen, al heeft de tocht van de Mariner 2 er enkele opgelost. Zij heeft daarentegen ook nog veel vragen opengelaten, zodat volgende Mariners zeker gewenst zijn. In de lente van 1964 volgde een Russische poging om meer van Venus te weten te komen. De *Zond* 1 werd op 2 april gelanceerd vanuit een om de aarde draaiende kunstmaan en ging op weg in de richting van Venus. De Zond 1 werd een kunstplaneet. Resultaten leverde zij niet op. In het najaar van 1965 deed zich een nieuwe gelegenheid voor om naar Venus te gaan. Twee Russische Venusverkenners werden gelanceerd. De eerste de Venus 2, van 12 november, passeerde Venus op slechts 24 000 km. Zij verzond een groot aantal gegevens over de kosmische stralingen, de mikrometeoroïden en de magneetvelden, die zij onderweg ontmoette. De kapsule was zo nauwkeurig gelanceerd, dat zij onderweg zelfs niet gekorrigeerd behoefde te worden. Op 16 november vertrok het tweede ruimteschip, de Venus 3. Na een reis van 3,5 maand bereikte het Venus op 1 maart 1966.

In dit geval was er wel een korrektie van de baan nodig geweest, 40 dagen na het vertrek.

De verkenner zou de planeet op ruim 60000 km afstand zijn gepasseerd, als niet de snelheid vlak voordat ze Venus bereikte vermeerderd was. Daardoor werd het rendez-vous tien uur vervroegd en het ruimteschip sloeg op Venus te pletter. Hamer en sikkel van de USSR kwamen neer op de waarschijnlijk gloeiend hete bodem van de planeet Venus. Bij de definitieve nadering brak de radioverbinding tussen de verkenner en de aarde af. Het ruimteschip gaf wel weer een groot aantal gegevens over de toestand in de interplanetaire ruimte, maar niets over Venus. De zachte landing mislukte. Venus blijft nog in sluiers gehuld.

Op 12 juni 1967 volgde een nieuwe lancering. De Venus 4 moet na een reis van vier maanden de planeet bereiken. Behalve deze Russische poging lanceerden de Amerikanen de Mariner 5 twee dagen later. Dit ruimteschip van 245 kg is vier keer zo licht als de Russische Venus 4. De Mariner 5 zal achter Venus langs moeten gaan en tijdens die bedekking zal haar radiozender blijven werken. De radiosignalen gaan dan rakelings door de dampkring van de planeet en zullen vervormen, zowel in sterkte als in frekwentie. Daaruit hoopt men meer te kunnen afleiden over de Venusatmosfeer. Daarnaast worden vele andere metingen verricht.

veertiende hoofdstuk

kraters op mars

De planeet met de kanalen – Kaarten van Mars – Een wereld als de onze? – Een planeet met sneeuw of ijs – De poolkap smelt – Er is ook een dampkring – Het projekt-Stratoskoop – Wolken op Mars – Plantengroei buiten de aarde? – Woestijnen van ijzererts – De tocht van de Mariner 4 – Seinen over zeer verre afstanden – Mars van dichtbij – Kraters op het Marsoppervlak – Besneeuwde bergen – Mariner deed meer dan alleen fotograferen – Nieuws van Mars.

Mars is van onze buren in het heelal de vriendelijkste, al is hij dan ook naar de oorlogsgod genoemd. Venus is permanent in wolkensluiers gehuld en haar hete oppervlak is weinig aanlokkelijk. De maan, een wereld zonder lucht en met indrukwekkende temperatuurvariaties, trekt ons ook niet bepaald. Mars daarentegen lijkt in alle opzichten heel wat gunstiger. De planeet beschrijft een tamelijk excentrische baan buiten de aardbaan en af en toe kan zij de aarde bij gunstige opposities tamelijk dicht naderen. Met grote kijkers is het meestal kleine planeetschijfje dan te vergroten tot het in de kijker net zo groot lijkt als de maan met het blote oog gezien, en zelfs nog groter.

De eerste, die op Mars enkele bijzonderheden kon onderscheiden was Christiaan Huygens. Zijn beroemde tekening van 18 november 1659 was het eerste bewijs van de aanwezigheid van zichtbare details op het Marsoppervlak. Pas twee eeuwen later voltooiden Beer en Mädler de eerste kaart van de planeet. Zij tekenden de permanent zichtbare vlekken met als referentiesysteem een net van meridianen en parallelcirkels. De 0-meridiaan kozen zij over een ronde vlek, die Antoniadi later Sinus Meridiani heeft genoemd. De planetografische lengte wordt van 0° tot 360° geteld tegen de rotatiezin van de planeet in, dat is oostwaarts aan de hemelbol. De meridiaan, die wij op een bepaald ogenblik midden over de schijf zien lopen en die dus naar de aardse waarnemer toe is gericht, wordt de centrale meridiaan genoemd. Later is de 0-meridiaan officieel gedefinieerd door de

centrale meridiaan, die op 15 januari 1909 te 12^h UT vanuit Greenwich zichtbaar zou zijn geweest, dat was 344,°41. Omdat Mars in omstreeks 24 uur om zijn as draait, zien wij voortdurend andere lengtegraden op de centrale meridiaan.

De pool van de planeet staat net zo min als de pool van de aarde loodrecht op het baanvlak. De Marsevenaar maakt een hoek van 25° met het baanvlak van de planeet. De rotatie-as wijst niet naar onze poolster, maar naar een punt aan de hemel niet ver van de ster delta van Cepheus.

Net als de aarde vertoont Mars daardoor jaargetijden, die door de grote ellipticiteit van de planeetbaan vrij veel in duur verschillen. In fig. 46 is de baan van Mars verdeeld in een jaar van

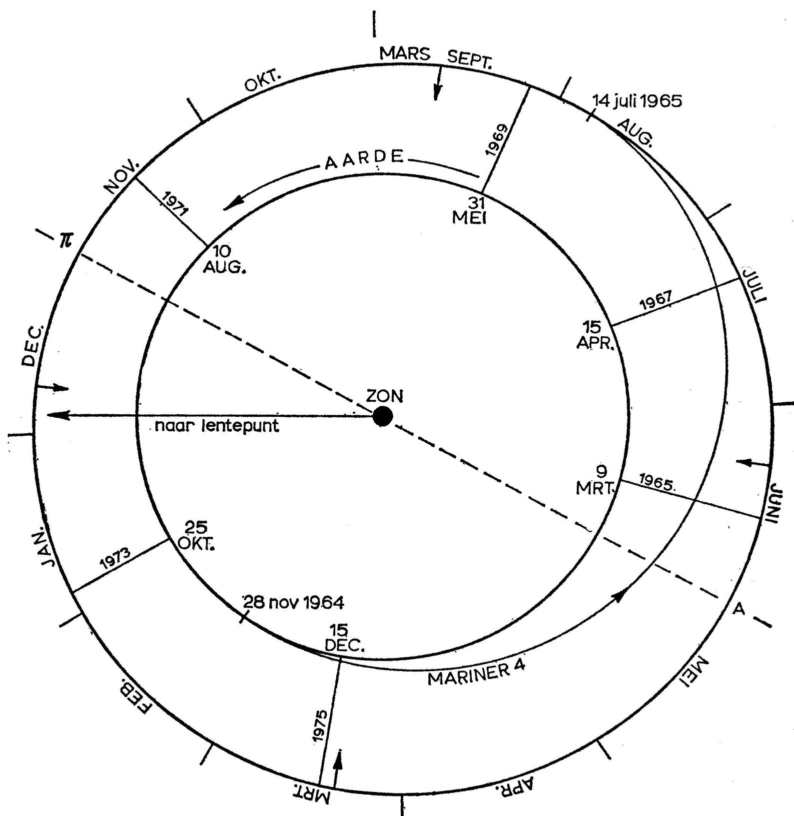


Fig. 46 Baan van Mars, Aarde en Mariner 4. De baan van Mars is verdeeld in een denkbeeldig Marsjaar van 12 maanden. Verder is aangegeven wanneer de Aarde en Mars in 1965, 1967, 1969, enz. dicht bijeen staan.

twaalf maanden; we zien, dat het tijdens het passeren van de Mariner 4 (waarover straks meer) zomer was op het noordelijke halfrond van Mars. Op het zuidelijke was het toen natuurlijk volop winter.

Bij gunstige omstandigheden ziet men aan de noord- of aan de zuidpool een witte vlek. De planeet Mars bezit poolkappen, tot op zekere hoogte vergelijkbaar met de poolgebieden op aarde. De noordelijke poolkap verdwijnt meestal niet geheel in de zomer, omdat deze op het noordelijke halfrond van Mars minder warm is dan die op het zuidelijke halfrond. Dit smelten van de poolkap is in een kijker te volgen en men ziet om de verdwijnende poolkap ook een soort smeltzone, soms met een blauwe kleur. Kuiper nam dit ook in april 1950 waar met de 82-duims-kijker van de MacDonald Sterrewacht; zijn bevinding was dat de zone zwart van kleur was. Het bestaan ervan is ongetwijfeld reëel, de breedte is niet konstant en de vorm onregelmatig. Een 'poolzee' is het zeker niet, maar waarschijnlijk wel een gebied met een verhoogde vochtigheid.

Antoniadi heeft het afsmelten van de poolkappen grafisch voorgesteld en gevonden, dat er variaties zijn van het ene jaar op het andere. Wanneer de in de poolstreken vaak aanwezige bewolking ontbreekt, kan men de ontwikkeling van de kap volgen. Het afsmelten gaat niet gelijkmatig. Men ziet donkere gebieden en onregelmatige stroken ontstaan. Heldere uitsteeksels ontwikkelen zich soms, die enige tijd los van de eigenlijke kap blijven bestaan. Zulke details keren van jaar tot jaar op dezelfde plaats terug in het volgende Marsseizoen en zijn blijkbaar het gevolg van het plaatselijke reliëf. Hoogteverschillen van duizend meter zijn voldoende om de onregelmatigheid te verklaren.

Infrarode spektra van de poolkap van Mars lieten een zeer duidelijke overeenkomst zien met een infrarood reflektiespektrum van zeer fijne ijskristalletjes (rijp) bij zeer lage temperatuur ontstaan (— 78° C). Verse of smeltende sneeuw komt niet met het poolkapspektrum overeen, evenmin als het spektrum van bevroren koolzuur.

Dat men aan koolzuursneeuw had gedacht om het witte gebied om de polen van Mars te verklaren is niet zo vreemd, als men bedenkt, dat koolzuurgas een belangrijk bestanddeel is van de atmosfeer van de planeet. In 1947 werd dit gas door Kuiper

ontdekt in infrarode spektra, verkregen op de MacDonald Sterrewacht. Uit de sterkte van die koolzuurbanden leidde Kuiper af, dat de hoeveelheid koolzuur in de atmosfeer van Mars iets meer bedraagt dan 2,2 keer de hoeveelheid in de aardse atmosfeer boven de sterrewacht, van waaruit hij zijn waarnemingen verrichtte (dat is 1,8 keer zoveel als boven zeeniveau). Bij normale temperatuur en druk zou het koolzuur uit de atmosfeer van de aarde een laagje van 220 cm hoogte kunnen vormen. Dat op Mars zou dus 440 cm bedragen. De gehele aardse atmosfeer zou (als de druk niet naar boven toe afnam en als de temperatuur overal 0°C. zou bedragen) 8 km hoog zijn. Zoals we dadelijk zullen zien, is de atmosfeer van Mars veel ijler (80 à 160 m atm. hoog), maar toch is de hoeveelheid koolzuur er niet meer dan 10 à 20 procent van het geheel.

Zowel naar zuurstof als naar waterdamp is in het spektrum van Mars heel wat malen intensief gezocht. Uit de aanwezigheid van de poolkappen weet men, dat er waterdamp moet voorkomen. Het zoeken is tot nu toe volkomen zonder resultaat gebleven. Dat komt grotendeels doordat in onze dampkring zowel zuurstof als waterdamp volop voorkomt. Om de eventueel aanwezige zwakke lijnen van Mars te vinden, moet men een meting doen in het spektrum als Mars snel ten opzichte van de aarde beweegt. De dopplerverplaatsing der lijnen zou dan een meetbare verschuiving ten gevolge kunnen hebben. Zelfs de meest verfijnde metingen hebben echter tot nu toe alleen nog maar geleid tot een soort bovenste grens van de waterdamphoeveelheid, terwijl zuurstof evenmin is gevonden. In de laatste tijd tracht men een spektrograaf omhoog te brengen met een ballon. Dit wordt in Amerika uitgevoerd en maakt deel uit van het *projekt-Stratoskoop*. Op 1 maart 1963 werd de eerste vlucht met gedeeltelijk sukses uitgevoerd. De hoeveelheid waterdamp op Mars is minder dan 0,0040 atm. (bij 0°C en 1 atm. druk zou het dus een laagje zijn van nog geen 0,004 cm). Voor de hoeveelheid koolzuur werd nu niet minder dan 6000 cm atm. gevonden. Ook naar allerlei gassen is op uitgebreide schaal gezocht, maar eveneens zonder resultaat. De enige gassen, die nog voor de Marsatmosfeer in aanmerking komen en die niet zijn te identificeren, zijn stikstof en bepaalde edelgassen, zoals argon. Men neemt in de praktijk voor de samenstelling aan 76 procent stikstof, 16 procent koolzuur en 8 procent

argon. Waarschijnlijk is het koolzuurpercentage echter hoger.

Uit visuele en fotografische waarnemingen is men tot de konklusie gekomen, dat er in de atmosfeer van Mars verschillende wolkensoorten voorkomen. Allereerst neemt men herhaaldelijk individuele of grote formaties witte wolken waar. Deze kunnen dagen en soms weken lang blijven bestaan en bewegen over het Marsoppervlak met de daar heersende luchtstromingen mee. Uit hun verplaatsingen zijn windsnelheden tot 35 km/h afgeleid. Aan de rand van de planeet of bij de terminator ziet men ze soms als heldere lichtvlekjes uitsteken. Deze wolken hebben ook de neiging speciaal boven bepaalde gebieden voor te komen. Waarschijnlijk stijgen vochtige luchtstromingen hier op tegen hoger gelegen bergstreken, waardoor kondensatie optreedt, die tot wolkenvorming leidt. De wolken bestaan grotendeels uit ijskristalletjes. Sommige woestijnstreken zijn (net als op aarde) bijna permanent gezegend met een wolkenloos firmament, terwijl in andere streken, zoals de poolgebieden, in het winterhalfjaar bijna voortdurend bewolking hangt.

Dikwijls ziet men ook bij de avond- of morgenterminator damp of nevel ontstaan tengevolge van de afkoeling. Deze nevels zijn vaak echter te zwak om ze visueel of fotografisch waar te nemen maar verraden hun aanwezigheid bij polarisatiemetingen. Soms wordt het oppervlak van Mars gedeeltelijk onzichtbaar door geelachtige stofwolken. Dit komt zelden voor en bijna uitsluitend als Mars haar perihelium passeert. Dat is dus tijdens de lente op het zuidelijk halfrond. Over het ontstaan van deze stofwervelingen, die grote gebieden van de planeet bedekken, tast men in het duister. Misschien geeft een verder onderzoek van dichtbij hiervoor een oplossing.

Behalve de maan en Mercurius is Mars het enige hemellichaam, dat ons een blik gunt op zijn vaste oppervlak. In de vorige eeuw meende Schiaparelli rechte strepen op Mars te zien, die hij kanalen noemde. Deze ontdekking bezorgde de planeet enige tijd een meer dan ongewone belangstelling. Uitgebreide onderzoekingen en talrijke bespiegelingen zijn aan Mars gewijd. Nadat men tot de overtuiging was gekomen, dat die kanalen waarschijnlijk het gevolg waren van het beperkte oplossend vermogen van de kleine kijkers uit die tijd (daar ze in grotere kijkers opgelost bleken te worden in grote aantallen kleine vlekjes, die

soms met elkaar een soort lineair patroon vormen), luwde de belangstelling voor Mars. De verkleuringen van de oppervlaktedetails in de loop der seizoenen, die zich regelmatig herhaalden bleven echter een mysterieus probleem. Opnieuw steeg nu de belangstelling voor het raadselachtige hemellichaam. Zou inderdaad een periodiek opbloeien en afsterven van een plantendek deze merkwaardige kleurverschijnselen kunnen verklaren? Zou dit in verband staan met de in de loop van een Marsjaar optredende golf van donker wordende details, die langzaam van de polen equatorwaarts trekt naarmate het seizoen voortschrijdt? Of zou dat verkleuren en donker worden alleen maar het gevolg zijn van chemische veranderingen in het oppervlaktegesteente tengevolge van de veranderende vochtigheidsgraad van de atmosfeer? Het reflektiespektrum van de zaadplanten, varens en mossen onderscheidt zich zeer duidelijk van dat van de algen en korstmossen (fig. 47). De aanwezigheid van chlorofyl en water manifesteert zich zeer duidelijk in het spektrum. De groene gebieden op Mars werden door Kuiper waargenomen in vier golflengten (0,6; 0,8; 1,0 en 1,6) en vergeleken met de heldere oranjerode gebieden er omheen. De verhouding is bij alle vier golflengten gelijk en hun spektrum komt dus niet met dat van figuur 47a overeen. Dat schakelt de aanwezigheid van ons bekende zaadplanten en varens nagenoeg uit.

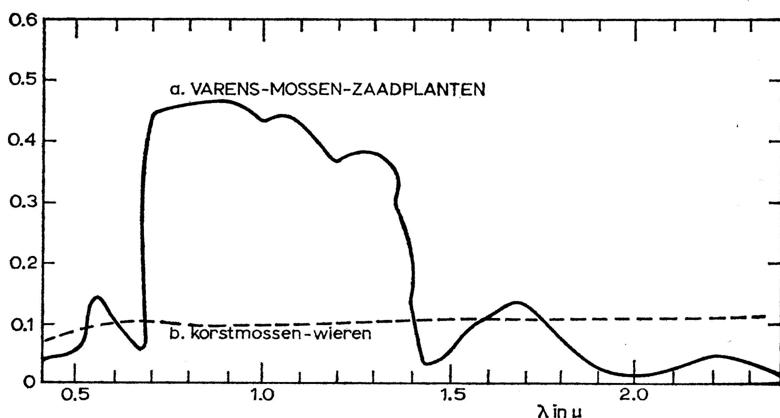


Fig. 47a en b Het spektrum van varens, mossen en zaadplanten verschilt sterk van dat van korstmossen en wieren in het infrarood. Kuiper vond, dat het Marsspektrum meer op het tweede lijkt dan op het eerste.

De Russische astronoom Tikhov vergeleek de plantengroei in toendragebieden en in het hoogland van Pamir met die in andere streken. Het bleek hem, dat de vegetatie in die hooggelegen, intens door de zon bestraalde gebieden, onderhevig aan zeer grote temperatuurvariaties, blijkbaar aan de omstandigheden is aangepast. De planten maken gebruik van het infrarode zonlicht om meer warmte te verzamelen en het ontbreken van extra infrarode reflektie in de groene gebieden op Mars zou dan geen afdoend bewijs zijn tegen de aanwezigheid van een uitgebreide begroeiing (ook van varens, mossen en zaadplanten) op de rode planeet. Een soortgelijke overweging geldt voor de ontbrekende chlorofylbanden.

De aard van de donkere gebieden, die men naar analogie van de donkere vlekken op de maan zeeën heeft genoemd, is dus nog steeds raadselachtig. De kanalen of rechte donkere strepen, die in kleine instrumenten te zien zijn, schrijft men toe aan verzamelingen min of meer in één richting gelegen kleinere donkere vlekken. De tussen de donkere vlekken gelegen heldere gebieden, die we als kontinentale woestijngebieden beschouwen, vertonen een opvallend rode kleur. Zij zijn het, die met hun oranje-rode tint aan Mars de naam van rode 'planeet' bezorgd hebben. De polarisatiekromme van deze woestijngebieden is door de Franse astronoom Lyot en later door Dollfus uitgebreid waargenomen. De laatste onderzocht allerlei stoffen in zijn laboratorium en trachtte er één te vinden, die bij verschillende belichting en waargenomen onder gelijke omstandigheden een soortgelijk verloop van polarisatie vertoonde met de fase als het oppervlak van Mars. Na veel tevergeefs zoeken vond hij, dat limoniet (een waterhoudend ijzeroxyde) in fijn verpulverde toestand met de waarnemingskromme van Mars overeen komt. Tevens vond Dollfus, dat de polarisatie van de donkere gebieden met het seizoen varieert. In een recent onderzoek hebben Sagan en medewerkers het totale terugkaatsend vermogen van Mars bij verschillende golflengten vergeleken met laboratoriummetingen van diverse fijngestampte limonietmonsters. De overeenkomst is vrij bevredigend.

Van Russische zijde zijn waarschijnlijk een vijftal pogingen gedaan om de planeet Mars te benaderen. Na drie naamloze pogingen, die volkomen mislukten doordat het ruimteschip weiger-

de los te komen van zijn aardse parkeerbaan, werd op 1 november 1962 de *Mars* 1 gelanceerd. Nadat dit uit zijn parkeerbaan was vertrokken, leek het aanvankelijk sukses op te zullen leveren. Tot 21 maart 1963 was er radiokontakt. Toen was de verkenner 106 000 000 km van de aarde. Hij passeerde verscheidene meteoorzwermen en zond talrijke gegevens uit de interplanetaire ruimte naar de aarde. Na 21 maart echter viel het radiokontakt weg, vermoedelijk omdat de antenne niet meer op de aarde gericht stond. Het uiteindelijke doel, iets meer van Mars te weten te komen, werd niet bereikt.

Op 30 november 1964, twee dagen na de lancering van de Amerikaanse Mariner 4, vertrok de Russische *Zond* 2. De Zond 1 was begin 1964 naar Venus gelanceerd, maar de zender viel uit. De Zond 3 zond ons foto's van de achterkant van de maan. De Zond 2 kwam aanvankelijk vlot in de gewenste baan. Weldra deden zich moeilijkheden met het zendvermogen voor, die na enkele weken echter overwonnen werden. Op 20 december volgde vanuit Moskou de bekendmaking, dat de Zond 2 uitgerust was met zes plasmamotoren, waarmee men de koers korrigeerde. Waarschijnlijk zijn hiermee ionenmotoren bedoeld, die elektronen en positieve ionen uitstoten, tezamen een neutraal plasma. Motoren van dit soort beproefde Amerika op 20 juli 1964 met het *Sert-projekt.* Een ervan werkte toen heel goed. Evenals de Mars 1 kruiste de Zond 2 verscheidene zwermen meteoren en vond, dat de frequentie van de micrometeorieten merkbaar toenam in de richting van de Marsbaan. Tenslotte viel het radiokontakt echter weg, nog voor de Zond 2 Mars bereikt had.

De lancering van de Mariner 3 vond plaats op 5 november 1964, maar de kapsule weigerde los te komen van haar beschermend omhulsel, zodat de zonnepanelen niet ontvouwd konden worden en de lancering als mislukt moest worden beschouwd. Op 28 november bracht een Atlas-Agena toen de *Mariner* 4 in een baan om de aarde.

Zo waren we in 1965 getuige van de fantastische resultaten van de Mariner 4. Na een eenzame ruimtereis van 228 dagen over 560 miljoen km bereikte het de omgeving van Mars! De Mariner zelf is gelijk aan de vorige en gebouwd in Californië door het Jet Propulsion Laboratory. Het ruimteschip is 2,85 m hoog, in uitgeklapte toestand is de spanwijdte 7 m. Vier zonnepanelen

dragen 28224 zonnecellen. Zij zijn bevestigd aan een achthoekig frame, het totale gewicht bedraagt 260 kg.

Tijdens de vlucht werd de Mariner in de juiste stand gehouden door fotocellen, die op de zon en op de heldere ster Canopus gericht waren. Na een korte parkeerbaan om de aarde was de tweede trap, de Agena-raket, in de richting van de aarde weggestoten, waar zij in de dampkring verbrandde. Zo kon zij de optische volgapparatuur van de Mariner niet storen, die heel wat moeite had om Canopus te vinden. Pas na 28 uur zoeken lukte het. Eerst kreeg de zoeker de aarde te pakken, later steeds verkeerde sterren. Pas nadat de Mariner op Canopus zou zijn georiënteerd, zou de aarde door een tweede zoeker te zien zijn. Een stelsel van gyroskopen en kleine stikstofraketjes zorgde dat de juiste stand gehandhaafd bleef. Op 3 december wilde men de eerste baankorrektie uitvoeren. Vlak daarvoor verloor de Mariner haar oriëntatie op Canopus en de korrektie moest worden uitgesteld. Op 11 en 12 december passeerde de Mariner de meteoorzwerm der Geminiden en op 20, 21 en 22 december de Ursiden. Er werden geen schadelijke gevolgen ondervonden.

Op 11 februari werd de kamera getest en de lenskap afgeworpen. Men wilde dat niet vlak voor het nemen van de echte opnamen doen om de Canopus-sensor dan niet te storen. Intussen zonden de instrumenten aan boord regelmatig via de op de aarde gerichte antenne allerlei gegevens uit over het interplanetaire plasma en de daarin heersende magnetische velden. Drie reusachtige antennes in Zuid-Afrika, Californië en Australië ontvingen een stroom van gegevens, waaronder die van tien zonnevlammen. Het interplanetaire stof bleek dichter te worden buiten de aardbaan op grotere afstand van de zon, maar in de omgeving van Mars nam het weer af.

Op 14 juli naderde de Mariner de planeet Mars. Voor de eerste keer in vijf maanden kreeg het ruimteschip nieuwe opdrachten vanaf de aarde. Dit was op deze enorme afstand mogelijk, nadat de Mariner op 5 maart van haar in alle richtingen even sterk stralende antenne overgegaan was op één met een nauwe, gerichte bundel. Dit veroorzaakte een veertigvoudige toeneming in de signaalsterkte. Zo kon het kommando worden gegeven om de televisiekamera aan boord op de planeet Mars te richten om het oppervlak waar te nemen. Deze stond voor een zware taak,

want zij beschikte slechts over een vermogen van 10,5 watt. Mars staat heel wat verder van de zon dan de aarde en de zonnecellen produceren daar dan ook minder vermogen. Elk van de 22 opnamen, die men hoopte te maken bij het passeren vóór de planeet, moest op een band worden vastgelegd in de vorm van getallenreeksen. Dat is noodzakelijk, omdat het overseinen van een opname meer dan acht uur in beslag neemt en de opnamesnelheid van de kamera is veel vlugger. Het overseinen naar de aarde begint ongeveer een halve dag, nadat de laatste foto is gemaakt. De opnamen worden in paren gemaakt, die elkaar gedeeltelijk overlappen. Na een foto wordt de band stopgezet en pas bij de volgende opname weer aangezet. Elk beeld wordt met een belichtingstijd van 0,4 sekonden in het brandpunt van een spiegelteleskoop opgenomen. Het wordt in 200 lijnen in 24 sekonden afgetast. De kijker (f/8) heeft een spiegel van 4 cm en is voorzien van twee paren filters, een blauw-groen en een oranje-rood. De belichtingstijd kan zonodig worden verkort. Er werden uiteindelijk 21 in plaats van 22 foto's opgenomen, want de band zond slechts een fragment van de tweeëntwintigste.

De route die de Mariner in de ruimte volgde, is weergegeven in fig. 48, terwijl in fig. 49 is te zien welke gebieden van Mars in detail werden gefotografeerd. De eerste opname vond op 15 juli plaats om 0^h19^m UT. Iedere foto bestaat uit 40000 punten, verdeeld over de 200 lijnen (het raster is dus heel wat grover dan dat van ons televisiebeeld, dat uit 625 lijnen is opgebouwd). Van ieder punt werd de helderheid naar de aarde overgeseind in een

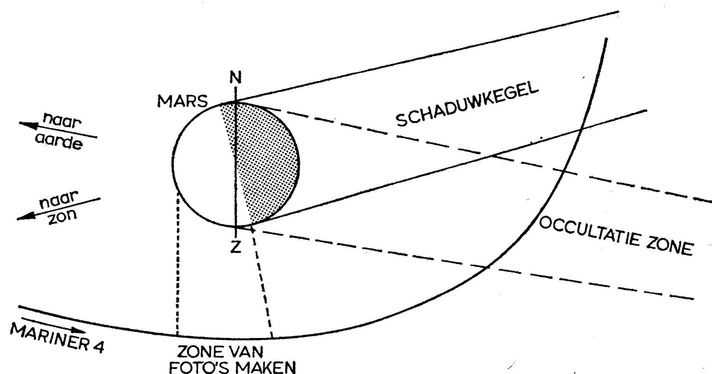


Fig. 48 Mariner 4 passeert Mars.

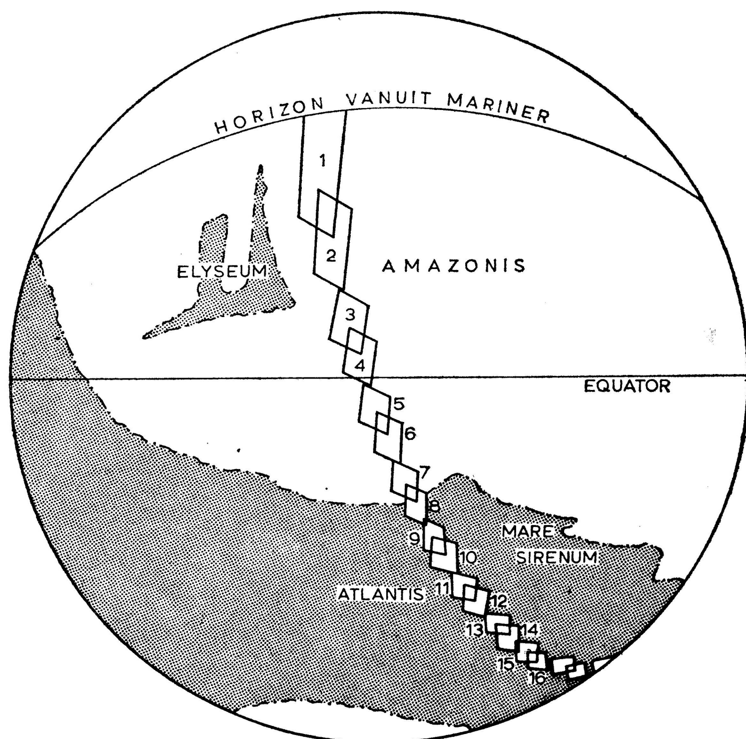


Fig. 49 De door de Mariner op Mars gefotografeerde gebieden. De rand van de planeet gezien vanuit de Mariner valt niet samen met de cirkel vanuit het oneindige gezien.

schaal van 0 tot en met 63. Deze signalen werden na ontvangst op aarde in foto's omgezet.

De eerste opnamen (pl. xv) vertonen niet meer dan de rand van de planeetschijf zonder verdere details. Het duidelijk overkomen van de rand van Mars was echter reeds een belangrijk sukses. Pas nummer 3 vertoonde enig teken van reliëf, maar 5 en 6 gaven duidelijk de eerste details weer. Opname 11 is wel een van de meest spektakulaire. Op de nummers 5 tot en met 15 heeft men een zeventigtal duidelijke ringbergen ontdekt, in diameter variërend van 5 tot honderden kilometers. Daar deze opnamen slechts 1 procent van het gehele planeetoppervlak beslaan, mogen we aannemen dat het oppervlak van Mars bedekt is met vele duizenden kraters, die een zekere overeenkomst tonen met het

oppervlak van onze eigen maan. De ringwallen van de kraters liggen vele honderden meters boven hun bodem, maar steken veel minder uit boven het terrein er omheen.

Op de foto's, genomen op het zuidelijk halfrond van Mars waar het winter was, schenen sommige kraters bedekt met een soort rijplaagje, dat vooral op opname 14 duidelijk is te zien. Vanaf nummer 16 zijn de opnamen eigenlijk mislukt, omdat de belichting te kort was. Bij 19 en 20 is de terminator vaag te herkennen, 21 en 22 zijn van de nachtzijde van Mars.

Het aantal kraters per km^2 is meer dan op de maanvlakten, maar minder dan op de hooglanden op de maan. Ook zeer grote kraters tot 500 km diameter komen er voor. Het terugkaatsend vermogen van hun bodem is echter niet minder dan dat van het oppervlak er omheen. Ze zijn dus niet te vergelijken met de walvlakten op de maan of met de vaak nog donkerder vlakten. Op Mars is er echter een dampkring en op de maan niet. De winden op Mars verplaatsen het stof en de hellingen lijken ook veel vlakker dan op de maan. Het reliëf is door de erosie sterk afgerond. Hartmann voerde een zorgvuldige nieuwe analyse van de Mariner-opnamen uit. Het bleek, dat kraters met een diameter groter dan 50 km op Mars in de loop der eeuwen door de erosie niet konden worden weggewist. Het aantal kraters met kleinere diameters neemt af (fig. 50). Dit is een gevolg van de erosie, zoals ook door vergelijken van Mariner-opnamen met maanfoto's duidelijk blijkt.

De 'New York Times' van 30 juli 1965 bracht in grote opmaak het bericht, dat het voorkomen van oeroude kraters op Mars de mogelijkheid van leven daar uitsloot. Dit bericht is ook in ons land door de pers overgenomen en zelfs in wetenschappelijke literatuur doorgedrongen. Leighton en zijn medewerkers wezen er op, dat er wel uit volgt, dat er nooit gedurende de lange geschiedenis van de planeet op Mars een dichte atmosfeer aanwezig is geweest met volop vloeibaar water. Zelfs deze konklusie wordt echter door Hartmann betwijfeld. Hij stelt, dat er duidelijk erosie valt te konstateren en dat de bewering, dat de kraters op Mars de mogelijkheid van leven uitsluiten even zwak is als de opmerking, dat de restanten van grote kraters in Canada het leven om de Hudson Baai zouden uitsluiten, want anders waren die kraters al lang weggeërodeerd. De opnamen door de Mariner

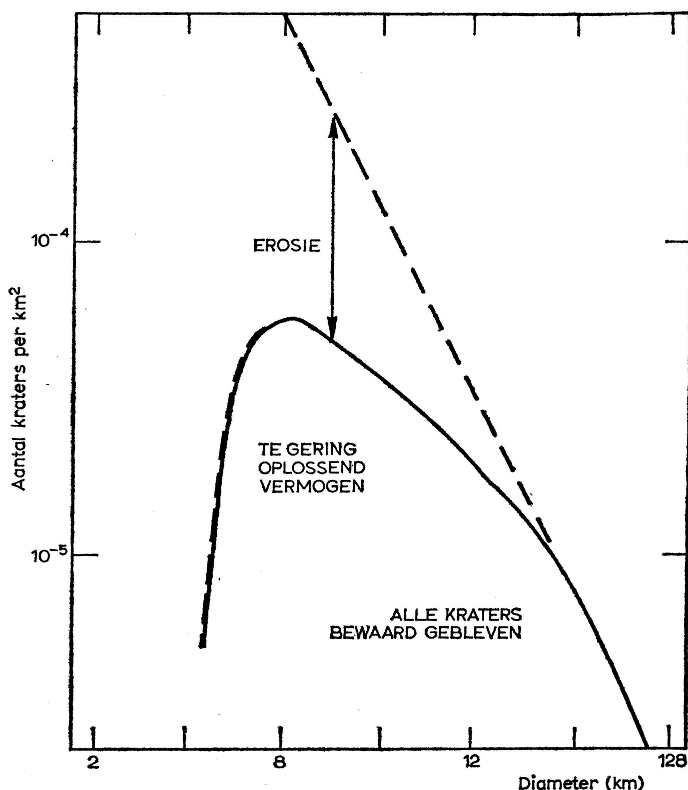


Fig. 50 De frekwentie van het aantal kraters op Mars per km² die groter zijn dan 50 km verloopt net als op de maan. Kleinere kraters zijn er echter minder door de erosie op de planeet. Zeer kleine kraters zijn er heel weinig geteld ten gevolge van het te geringe oplossend vermogen op de Mariner-opnamen.

hebben geen uitsluitsel kunnen geven over de aanwezigheid van leven op de planeet Mars. Wel wijzen de vele oude kraters er op, dat Mars inderdaad een geheel andere tektonische geschiedenis heeft doorgemaakt dan de aarde.

Bij zijn nadering tot Mars heeft de Mariner meer gedaan dan alleen maar foto's gemaakt. Tijdens het passeren van de planeet ging het ruimteschip achter Mars langs. Daarbij vond een okkultatie plaats door de planeet, precies zoals de maan een ster bedekt. De Mariner verdween achter de ene rand en verscheen een uur later weer aan de andere kant. In tegenstelling tot de maan heeft Mars echter een atmosfeer. De bedekking van de Mariner

is niet optisch waargenomen, zoals een bedekking van een ster, maar wel konstateerde men het verdwijnen van de radiosignalen. Bij het verdwijnen en weer verschijnen moesten die signalen echter door de atmosfeer van Mars gaan en uit de daardoor veroorzaakte verzwakking kon men het aantal elektronen ter plaatse berekenen. Dit gaf tevens het eerste experimentele bewijs van de aanwezigheid van een ionosfeer om Mars heen. Deze bleek echter veel ijler te zijn en veel lager te liggen dan men tot nu toe in het algemeen had aangenomen. De elektronendichtheid is maximaal op 160 km boven het oppervlak van Mars en is gelijk aan de hoogste waarde, die men 's nachts in de atmosfeer van de aarde vindt ($2 \times 10^6/cm^3$). Uit de elektronendichtheid kan men de druk van de gehele atmosfeer berekenen met de daarvoor passende formules. Een voorlopige analyse leidt tot een dichtheid, overeenkomende met een druk tussen 10 en 20 mbar. Dit resultaat, dat behoorlijk overeenkomt met de oude metingen van Lyot, past eveneens bij moderne metingen van Owen en Kuiper. Deze laatste metingen waren gebaseerd op het infrarode spektrum van Mars en men had ze verkregen met de 82-duims-MacDonald-kijker. Hun uitkomst was 17 mbar.

Door zorgvuldig de tijd te bepalen van begin en einde van de bedekking en uit de baan van de Mariner was de straal van Mars te bepalen; deze bleek 20 à 30 km groter te zijn dan de vanaf de aarde verrichte bepaling van 3390 km. De baan van de Mariner werd veranderd door de aantrekking van Mars en daaruit bleek, dat de massa 1 : 3098500 keer die van de zon was. Mars bleek evenmin als Venus een magnetisch veld te bezitten, het magnetisch moment is minder dan een vijfduizendste van dat van de aarde en ook ontbreken sporen van een magnetosfeer of een Van Allen-gordel om de planeet.

Tijdens de gunstige stand van Mars in 1966 zijn geen pogingen gedaan de planeet te bereiken. Over de plannen voor 1969 wordt in het laatste hoofdstuk gesproken.

vijftiende hoofdstuk

de maanreis is lang voorbereid

Eens Cape Canaveral, nu Cape Kennedy – Reusachtige lanceerkomplexen – Plannen voor de maanraketten – De proeven met de Saturnus – Ook waterstof blijkt bruikbaar – Het Centaur-projekt – Hoe men zich de reis naar de maan voorstelt – Het projekt-Apollo – De LEM moet op de maan landen – De Saturnus V – Het grootste gebouw ter wereld – Kunstmanen en maanreizen eisen volgstations – Op jacht naar Spoetniks – De Baker-Nunn-kamera's – Volgstations met grote instrumenten – Russische plannen of niet?

Reizen in het heelal per raket eist een uitgebreide basis, geschikt voor dit soort tochten. Hier moet men de raketten in elkaar kunnen zetten, het geheel en de onderdelen kunnen inspekteren en het ruimteschip gereed maken voor vertrek. De start zelf is een enorme gebeurtenis. Onder oorverdovend lawaai, kilometers ver in de omtrek te horen, stijgt het monster van zijn startplaats omhoog. Brullende, gloeiende gassen slaan uit de uitlaat der motoren en schroeien alles wat in hun weg komt. Slechts op televisieschermen in betonnen bunkers met dikke muren kan de start worden gadegeslagen en vandaar moet hij ook worden gedirigeerd. Niet alleen een of meer startplaatsen en een betonnen bunker of 'blokhuis', maar ook allerlei andere belangrijke zaken zijn van groot belang. Brandstoffen moeten in grote hoeveelheden opgeslagen liggen en snel in de klaarstaande monstertanks der raketten worden gepompt – niet alleen kerosine, maar ook vaak vergiftige, soms hels bijtende stoffen, die heftig reageren met allerlei andere materialen en die bewaard moeten worden onder zeer speciale omstandigheden en soms extreem lage temperaturen. Zuurstof, stikstof en waterstof zijn in vloeibare toestand in ongewoon grote hoeveelheden nodig. Ruimtesondes moeten gesteriliseerd worden om bakteriologische besmetting van andere hemellichamen tegen te gaan. Voor toekomstige maan-astronauten is een speciaal quarantaine-centrum ver van de raketbasis in aanbouw. Op geweldige stalen kontroletorens moet men

tot op de laatste uren voor het vertrek de start voorbereiden en deze reuzen, van dezelfde grootte als de raketten, moeten snel kunnen worden weggerold als het uur nul nadert.

In de loop der jaren heeft de NASA een aantal centra gesticht om haar werk op de juiste wijze te kunnen verrichten. Behalve de grote lanceerbasis in Florida stichtte zij ook het 'Manned Spacecraft Center' in Houston, Texas, waar de training van de ruimtevaarders plaatsvindt met de meest vernuftige hulpmiddelen. Met centrifuges kreëert men kunstmatige versnellingen. In nagebootste maanlandschappen worden de merkwaardigste apparaten en voertuigen getest. In Huntsville, in het 'Marshall Space Flight Center', worden nieuwe raketten en motoren beproefd en ontwikkeld. In New Orleans vindt een deel van de fabrikage plaats en de statische testen doet men gedeeltelijk in het 'Mississippi Test Facility' in Pearl River.

Het grote centrum is echter Cape Kennedy. Tien jaar geleden stonden er nog wat hutten in een moeras, waar vissers een bijzonder karig bestaan hadden. Nu voert een brede snelweg naar 'de Kaap', die even druk is als onze steden in het spitsuur. Deze weg leidt naar een uitstekende landtong in de Atlantische Oceaan, waar de Amerikaanse luchtmacht eens enkele vierkante kilometers moeras drooglegde. Tientallen rood geschilderde torens, kolossale verrijdbare konstruktiewerkplaatsen, die tegen de in aanbouw zijnde raketten aansluiten, steken tegen de lucht af. Iedere raket heeft haar eigen plaats en boven al die torens op al die lanceerkomplexen verheft zich het enorme gevaarte van de Saturnus, ongeveer honderd meter hoog. De verrijdbare torens staan op cirkelvormige betonnen platformen. Vanuit het centrum loopt een tunnel vol kabels naar de bunker, het hart van de lanceerbasis. Die bunker is de betonnen bestuurscentrale, beschermd door drie meter dikke muren tegen de gloeiende gassen, die de startende raketten wegslingeren.

Ergens op dit geweldig uitgestrekte terrein, in deze ruimtestad is een afdeling, waar de astronauten wonen. Hier werken, eten en drinken zij, volgen een uiterst regelmatige dagindeling, en worden door hun eigen medische staf verzorgd. Hun harde training na een scherpe selektie maakt ze geschikt voor hun taak om straks in de kleine kabine bovenop de reuzenraket omhoog te gaan naar onbekende streken.

Eens was het Cape Canaveral, sinds november 1963 wordt het Cape Kennedy genoemd. Een kleine naamsverandering ter ere van een door moordenaarshand gevallen Amerikaanse president, die de historische uitspraak deed: 'I believe that this nation should commit itself to achieve the goal, before this decade is out, of landing a man on the Moon and returning it safely to Earth.' (Nog deze dekade zal de eerste Amerikaan, de eerste mens de maan betreden en veilig terugkeren naar de aarde.) Nieuw land werd aangekocht ten noorden van de Kaap voor de grotere Saturnus, de Titan 3 (pl. XVI) van de luchtmacht en de mysterieuze Nova. Dit kostte 60 miljoen dollar voor 32000 ha. De Saturnus kan vertrekken van de complexen 34 en 37. De belangrijkste en kostbaarste installatie was de stalen toren, die 4 miljoen dollar kostte. Verankerd op haar pijlers kan zij orkaanwinden weerstaan en blijft volkomen stabiel als zij langs haar rails beweegt. Deze reus wordt gebruikt om de raket op de bijna 10 meter hoge startplaats te zetten, die bijna 100 m in middellijn meet. Duizenden kubieke meters beton en honderden tonnen staal werden hier verwerkt. Onder de raket wordt een 60 ton zware metalen plaat gebracht, die de brullende uitlaatvlam in twee richtingen horizontaal afbuigt. Startplaats en vlamdeflector zijn essentiële zaken voor het vertrek van de raket.

Een tank met 130000 liter brandstof en twee reservoirs met vloeibare zuurstof zorgen, dat binnen veertig minuten de draagraket is gevuld. In de buurt zijn tanks met helium, dat in de zuurstof wordt gemengd en hogedruk-tanks met vloeibare stikstof.

Komplex 37 is gelijk aan komplex 34, behalve dan dat twee startplaatsen bediend worden door één kontroletoren, één brandstofreservoir en één bunker. De aanlegkosten bedroegen 265 miljoen gulden; het werd in 1964 in gebruik gesteld.

Er zijn plannen voor nog geweldiger raketten in de toekomst (waarover meer in hoofdstuk XVII). De maanraket *Nova* moet een stuwkracht van 25 miljoen kg kunnen bereiken. Zo'n lawaai zal dit monster veroorzaken, dat een zone van 16 km om de lanceerplaats wordt afgezet waarop niemand kan worden toegelaten. Deze hypothetische reus zal direkt op de maan kunnen landen zonder een rendez-vous-operatie in de ruimte. Alleen al de kosten van de lanceerplaats schat men op 885 miljoen dollar. De Nova

beoogt twee doeleinden: te dienen als transportschip tussen de maan en de aarde voor het regelmatig brengen van voorraden naar de toekomstige permanente maanbasis; bovendien zal zij zo zwaar en zo sterk zijn, dat zij een door een kernreaktor gedreven volgende trap omhoog zal kunnen brengen, die dan voor veel langere reizen in het heelal bruikbaar zou kunnen zijn. Wij verwachten dat voor de eenentwintigste eeuw aanbreekt waarschijnlijk een onbemande ruimtesonde de interstellaire ruimte gaat verkennen. Recente schattingen, zijn dat de Nova 140 m hoog zal worden en 18 miljoen kg zal wegen.

Vanaf Cape Kennedy kan men niet gemakkelijk raketten lanceren in een baan met een inklinatie groter dan 50°. Vandaar dat vlak bij de nieuwe vlootbasis Point Arguello in Zuid-Californië de lanceerbasis Vandenberg tot grote bloei kwam. Hier werden de Discoverers gelanceerd in polaire banen en hier is, naast een centrum van aktiviteit van de NASA, het militaire middelpunt van de Amerikaanse lanceringen. Ook op Wallops Eiland in Virginia vinden talrijke lanceringen plaats, voornamelijk van kleinere raketten voor allerlei wetenschappelijke onderzoekingen, en zelfs het proefstation White Sands Proving Grounds in de woestijn van New Mexico, waar de eerste buitgemaakte V 2's opstegen, is nog steeds in gebruik voor bepaalde doeleinden.

Een reis naar de maan kan verdeeld worden in een aantal afzonderlijke stappen, zoals het opstijgen van de aarde naar de parkeerbaan, de eigenlijke maanreis, koerskorrekties onderweg, het omcirkelen van de maan gevolgd door de landing, het opstijgen daar en dan weer de terugkeer naar de aarde gevolgd door de daling door de atmosfeer. Ieder van die stappen stelt zijn eigen eisen aan de stuwkracht der raketten en aan de nodige materialen en daarom kan men ieder deel van de tocht apart beschouwen. Gedurende de afgelopen tien jaar is er een gestadige vooruitgang geboekt in de Verenigde Staten, zowel door de NASA als bij de militaire lanceringen. In het begin miste men aandrijfraketten met een grote stuwkracht, zodat men zich moest beperken tot het lanceren van lichte kleine kunstmaantjes. Onnodig te zeggen, dat de vele gedwongen vondsten op het gebied der mikro-elektronika, die daarvoor noodzakelijk waren, nu overal dankbaar worden toegepast.

Ondanks de technische vooruitgang blijft de ruimtevaart een

uitdaging aan de mensheid. Om een kleine kabine naar de maan te vervoeren moet men een reusachtige raket, uit verscheidene trappen opgebouwd, met een enorme stuwkracht lanceren. De stuwkracht is uiteraard afhankelijk van de voor de voortstuwing gebruikte brandstoffen. Hun effektiviteit wordt vaak in tabellen opgegeven door middel van de specifieke impuls I_s, gedefinieerd als:

$$I_s = c : g \tag{22}$$

waarin c de effektieve uitstroomsnelheid van de gassen is en g de versnelling van de zwaartekracht. Voor een aantal op het ogenblik bekende brandstoffen gelden de volgende waarden:

kombinaties	I_s m sek./sek.	c m/sek.	
LO_2 en LH_2	420	4200	LO_2 is vloeibare zuurstof
LO_2 en kerosine	300	3000	LH_2 is vloeibare waterstof
N_2O_4 en N_2H_4	290	2900	
H_2O_2 (90%)	150	1500	
vaste brandstof	260	2600	

Niet alleen de gebruikte brandstoffen, maar ook hun hoeveelheden en de snelheid waarmee zij worden gebruikt zijn van belang. De specifieke impuls staat echter in direkt verband met de stuwkracht van de raket.

Men kan berekenen hoeveel gewicht er ongeveer nodig is om een reis naar de maan en terug te maken (fig. 51). Ook het aantal dagen dat men daar wenst te verblijven en het aantal reizigers is van grote invloed op het omhoog te brengen gewicht. Voor dergelijke enorme gewichten zijn echter ook reusachtige raketten nodig.

Omstreeks medio 1960 was de eerste trap van de Saturnus I klaar om te worden beproefd. De raket was uitgerust met acht H 1-motoren van een gewijzigd Jupiter-Thor-type, die in paren tegelijk startten met 0,25 sekonde tussenpoos. De H 1-motor is zeer betrouwbaar en werkt op vloeibare brandstof. Van de 830 proeven op de grond werkte zij 800 keer goed. Mocht echter een van de acht motoren stoppen, dan wordt de brandstoftoevoer naar

de defekte motor onmiddellijk afgesloten; de raket stijgt verder op de zeven overige.

De eerste trap werd beproefd te Huntsville in Alabama op de grond. Zij was bijna 25 m lang en had een diameter van 6,5 m.

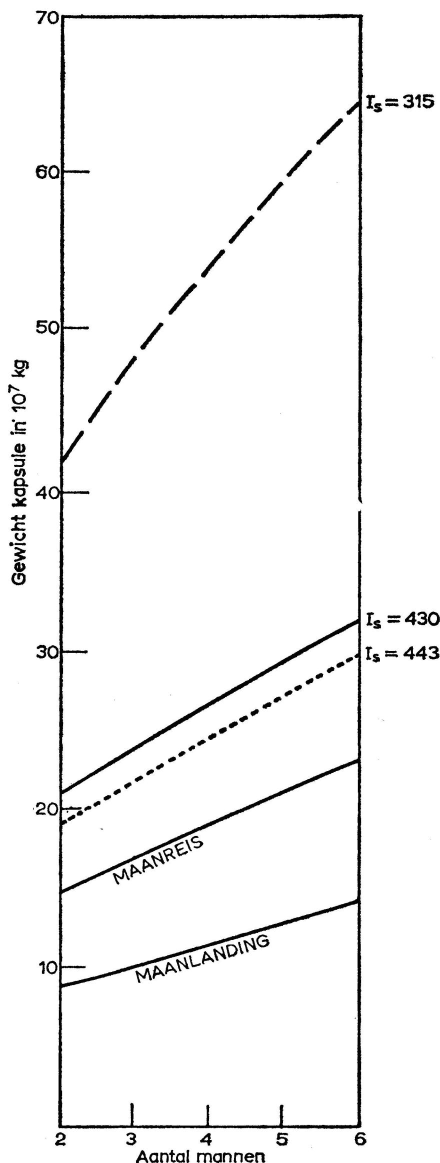


Fig. 51 Het gewicht van een komplete kapsule met bemanning, die de aarde moet verlaten, naar de maan moet reizen en terug, of alleen een enkele reis maan onderneemt. Het eerste gewicht is voor drie gevallen van I_s aangegeven.

Nadat dit gebeurd was, besloot men tien proefvluchten uit te voeren met de Saturnus 1-raket. Er werd een speciale boot gebouwd om de enorme raket van Huntsville via de Mississippi en de Golf van Mexico naar Cape Canaveral te transporteren.

De eerste proefvlucht was op 27 oktober 1961 en de raket vloog bijna 350 km over de Atlantische Oceaan. Een stuwkracht van 600000 kg trok de machtige Saturnus omhoog van complex 34, dat juist enkele maanden tevoren was klaargekomen. De raket bereikte een hoogte van bijna 140 km. De aandrijfraket was belast met twee met water gevulde volgende trappen en een zware neuskegel van een oude Jupiter-IRBM. De aandrijfraket was met slechts 270000 kg brandstof beladen, 68000 kg minder dan de maximale capaciteit.

Op 25 april 1962 vond de tweede proefvlucht plaats. Op 105 km hoogte liet men de raket exploderen, waardoor de 95 ton water, dat zich als ballast in de tweede trap bevond, in de aardse ionosfeer werd geslingerd. Er ontstond een bliksemstraal, gevolgd door een wolk van ijs en water, die twintig sekonden lang zichtbaar was. De wolk werd van de grond af gevolgd ten behoeve van het ionosfeeronderzoek. Bij de start waren geluidsmetingen uitgevoerd van het geweldige lawaai tot op 16 km afstand.

De derde proefvlucht (16 november 1962) had een soortgelijk verloop als de tweede, maar bij de vierde (28 maart 1963) werden de motoren op volle kracht beproefd met een stuwkracht van 680000 kg, zoals ze waren ontworpen. SA-5 op 29 januari 1964 had een met waterstof gevulde tweede trap. Voor de eerste keer werd nu lanceerkomplex 37 gebruikt. De Saturnus bracht 17100 kg, waarvan 5300 kg zand als ballast, in een baan om de aarde. De raket droeg behalve vele meetapparaten ook een televisiekamera en acht gewone filmkamera's. Deze werden afgeworpen boven de Atlantische Oceaan en door kikvorsmannen opgepikt. Zes RL-10-motoren dreven de tweede trap (pl. XVII). De kunstmaan kwam in een baan tussen 260 en 750 km.

Wij zagen reeds, dat de stuwkracht van een op waterstof en zuurstof werkende raketmotor groter is dan van een die op kerosine en zuurstof werkt. Waterstof is echter een zeer moeilijk hanteerbaar gas. Het is niet mogelijk de tanks van de raketten van zo zware stalen wanden te voorzien, dat de druk er in hoog kan worden opgevoerd. Daardoor kan men de gassen niet voldoende

samenpersen en men zou dus maar een beperkte hoeveelheid kunnen meenemen. Dit is de reden waarom men bijvoorbeeld zuurstof in vloeibare vorm meeneemt. In een kleine ruimte kan dan een veel grotere massa worden geborgen. Waterstof is echter uitermate moeilijk vloeibaar te maken. Daarvoor zijn zeer lage temperaturen nodig (onder de — 253° C) en deze zijn niet gemakkelijk te bereiken. Het vervaardigen van een voldoend grote hoeveelheid vloeibaar waterstof vormde dus een zware opgave. Pas toen men dat had opgelost kon men beginnen met het *projekt-Centaur.*

Op 8 mei 1962 startte de eerste Centaur van komplex 36 op Cape Canaveral. De eerste trap was een gewijzigde Atlas D met aan weerskanten aandrijfraketten, die na twee minuten afvielen. De Atlas droeg een 13 m lange, 14500 kg zware raket met twee RL-10-motoren, die ieder 6800 kg stuwkracht leverden. Nadat de tweede trap los was van de Atlas, ging de eerste zonder aandrijving korte tijd langs haar baan omhoog als een omhooggeschoten kogel, maar daarna moesten de motoren ontbranden. Omdat de waterstof in gewichtloze toestand niet onder in de tank zit (vooral als deze niet vol is), is de Centaur voorzien van een viertal grote hulpraketjes, die werken op samengeperst waterstofperoxyde. Deze geven de raket een kleine versnelling; daardoor wordt de waterstof naar de bodem van de tank gestuwd en kan dan worden opgepompt. Dank zij die hulpraketjes kan de Centaur herhaalde malen opnieuw worden gestart. De waterstoftank is bij het lanceren streng geïsoleerd en ook de bovenkant van de raket is bij de tocht door de dampkring beschermd tegen verhitting door een neuskegel. De beide tanks zijn goed van elkaar geïsoleerd, omdat de zuurstoftank veel minder koud is dan die met waterstof. In de tank bevond zich bij de proefvluchten een kleine televisiekamera; om de twee sekonden verlichtte een lamp van 100000 watt de tank en de kamera nam de situatie waar. De raket is door drie gyro's gestabiliseerd en heeft haar eigen komputer. De eerste start op 8 mei 1962 mislukte overigens, want na 60 sekonden scheurde het hitteschild los, de waterstof werd warm, verdampte en zette uit. Daardoor scheurde de tank open en men moest de raket laten exploderen.

Een tweede proef, op 27 november 1963, had meer sukses. De 8,7 m hoge Centaur volbracht de tocht uitstekend. Zij werd een

aardsatelliet met een baan tussen 478 en 1775 km. Waterstof heeft ook voordelen als brandstof: het is niet giftig en niet corrosief, het reageert niet met de materialen en verandert niet bij lang bewaren. Op 11 december 1964 werd een model van het maanschip Surveyor met een volgende proefvlucht omhooggebracht. Het opnieuw starten mislukte, omdat de waterstof ontsnapte door een spleet in de tank en dit gaf een zijwaartse druk sterker dan die van de kleine raketjes, die de waterstof naar de bodem van de tank moesten drijven. Toch werd de Centaur een aardsatelliet. Na nog een mislukte poging had men uiteindelijk toch sukses. Bij de vlucht van 11 augustus 1965 werd na 25 minuten de motor opnieuw gestart. Ook het brengen van het Surveyor-model naar een van tevoren vastgestelde plaats in de ruimte slaagde.

Intussen had de zesde proefvlucht van de Saturnus (28 mei 1964) plaatsgevonden (pl. XVIII). Voor het eerst werd een lege Apollo in een baan om de aarde gebracht. De Apollo is het ruimteschip, dat de drie astronauten naar de maan zal brengen. Inklusief de tweede trap woog de vracht ongeveer 17000 kg. Voor de eerste maal viel bij deze vlucht een der motoren onverwacht uit. Het stuursysteem hield het voertuig echter goed in zijn juiste baan. De 24 m lange satelliet heeft slechts vijftig omwentelingen om de aarde volbracht. Zij was even helder als Venus. De vlucht met de SA-7, op 18 september 1964, kwam overeen met de vorige (SA-6). De achtste proefvlucht (16 februari 1965) was met de SA-9 en hiermee werd de eerste *Pegasus* omhoog gebracht (zie hoofdstuk X). Daarna volgde SA-8 (25 mei 1965) met Pegasus 2 en tenslotte SA-10 met Pegasus 3.

Een volgende stap op de lange weg naar de maan was het testen van de Saturnus 1 B. De 1 B heeft acht H 1-motoren, die ieder 80000 kg stuwkracht produceren, net als de Saturnus 1. De tweede trap (S 4 B) is voorzien van een enkele J 2-motor, die op vloeibare waterstof werkt. Deze kan 14,5 ton in een baan om de aarde brengen. Zij is 68,5 m lang, met een Apollo-kapsule en een service module. Bij de proef werd het gewicht van de Lem (Lunar Excursion Module) en de drie astronauten door ballast gesimuleerd. In totaal zijn er twaalf proefvluchten met de Saturnus 1 B geprojekteerd, waarvan de eerste vier met onbemande Apollo's. Daarna zal een bemande Apollo volgen. Deze experi-

menten met vluchten om de aarde beogen de astronauten de gelegenheid te geven te oefenen met het vast- en loskoppelen van de drie onderdelen van hun maanschip.

De reis naar de maan, waarschijnlijk het grootste evenement van de twingtigste eeuw, zal beginnen op het reeds genoemde komplex 39 op Merritt Eiland bij Cape Kennedy. Na het ontsteken van de vijf F 1-motoren van de eerste trap van de Saturnus 5 stuwt deze machtige raket de 28000 ton zware reus gedurende 150 sekonden omhoog. Dan vallen de motoren van de eerste trap uit door gebrek aan brandstof. Vervolgens ontbranden de vijf raketmotoren van het type J 2 in trap twee, nadat de brandstof in de tank naar beneden is gedrukt door kleine hulpraketjes. Zodra de motoren op volle kapaciteit werken en het ruimteschip gestabiliseerd is, scheiden de uitgewerkte eerste trap en de rest van elkaar, terwijl ook de reddingstoren boven op de Apollo-kapsule door middel van twee raketmotoren uit de koers van het ruimteschip wordt weggeblazen. Twee en een halve minuut werkt de tweede trap, dan stopt de motor; de scheiding van de tweede trap vindt op gelijke wijze plaats.

Om de resten van de reus in een baan om de aarde te brengen op ongeveer 180 km hoogte is nog meer snelheidstoeneming nodig, die door de ene J 2-motor van de derde trap wordt geleverd. Nu volgt een laatste kontrole van het ruimteschip door de bemanning en het kontrolecentrum in Houston, terwijl het één à twee keer om de aarde draait. Reusachtige rekenmachines in Houston verwerken de gegevens van de baan en geven aan de astronauten en de instrumenten in het schip op het juiste moment het signaal om de motor van de derde trap nog eens te doen ontbranden. Na iets meer dan vijf minuten is deze uitgewerkt, maar dan is de Apollo ook onderweg naar de maan. Nu wordt de derde trap losgekoppeld, evenals het verbindingsstuk tussen die trap en het eigenlijke maanschip. Dat laatste bestaat uit drie afzonderlijke delen: de eigenlijke kabine, een service module (een soort hulpstuk) en het deel dat op de maan moet landen. Dit laatste kwam reeds even ter sprake en wordt *Lem* genoemd (Lunar Excursion Module) (pl. XIX). Het gehele driedelige ruimteschip zal 10 m lang zijn. Voor het kwijtraken van de derde trap draaien de astronauten met behulp van hun stuurraketjes de eigenlijke kapsule en de daarmee verbonden service module 180°, ma-

noeuvreren deze met de opening van de luchtsluis van de kapsule in de opening van de Lem en koppelen beide toestellen. Nu pas kan de derde trap met het verbindingsstuk worden weggestuurd in een iets andere baan; twee ruimtevaarders gaan in de Lem om die te kontroleren.

Tijdens de trip van 72 uur naar de maan zal de bemanning de instrumenten volgen in de Lem, de baan korrigeren zoals aangegeven wordt vanaf de aarde, en een motor in de service module gereed maken zodat deze in werking gesteld kan worden om in een baan om de maan te komen. Deze raketmotor kan ongeveer zes minuten werken en vermindert de snelheid zoveel, dat het ruimteschip de maan gaat omcirkelen op 100 à 200 km hoogte. Tijdens het draaien om de maan worden alle toestellen aan boord nog eens opnieuw gekontroleerd, ook het landingsgestel van de Lem wordt nog eens nagegaan, want het motto is veiligheid voor alles. Is dat in orde, dan wordt de Lem losgekoppeld en in een aparte baan gebracht met een even grote omlooptijd, maar veel grotere excentriciteit. Van geringe hoogte onderzoekt de bemanning het maanoppervlak en zal besluiten, waar de landing zal plaatsvinden. Door hun vrijwel gelijke omlooptijd komen de Lem en de Apollo bij iedere omwenteling even zeer dicht bij elkaar, zodat ze zonodig weer gekoppeld kunnen worden als het de twee astronauten in de Lem bij nader inzien onmogelijk zou blijken om te landen. Het periseleen van de Lem zal niet verder dan 5 km van het maanoppervlak af liggen.

Besluit men wel te landen, dan wordt de motor van de Lem ontstoken in het laagste punt van de baan tot de Lem op 300 m hoogte boven het maanoppervlak zweeft en dan vindt er een zachte landing plaats. Deze geschiedt met handbesturing. Voordat nu een der beide astronauten uitstapt en als eerste het maanoppervlak betreedt, inspekteert men de Lem en kontroleert de apparatuur voor de terugtocht. Nu worden 24 uur op de maan doorgebracht, waarbij ieder der beide ontdekkingsreizigers het ruimteschip gedurende ca. 4 uur kan verlaten. Ze bepalen de temperatuur van oppervlak en omgeving, meten de sterkte van de bodem, haar draagvermogen, hardheid en porositeit. Zij bepalen de geologische formaties en hun ouderdom, de aard der aanwezige mineralen en zoeken naar gassen en water. Er kan bijna 100 kg aan lading worden meegenomen. Dat gebeurt buiten

de Lem-kabine, zodat deze vracht aan de kondities in de interplanetaire ruimte wordt blootgesteld. Een deel van het instrumentarium wordt op de maan achtergelaten en zal nog zes maanden lang gegevens naar de aarde blijven zenden. Na een korte slaap begint het aftellen voor de start, die op een nauwkeurig berekend tijdstip moet plaatsvinden na het opkomen van de Apollo met zijn service module boven de horizon. De motor wordt ongeveer 6 minuten ontstoken en zijn 1800 kg stuwkracht brengt de Lem in een elliptische baan om onze wachter. Daarbij fungeert het onderstel op vier poten van de Lem als lanceerstoel; de rest gaat omhoog.

De beide ruimteschepen moeten elkaar weer opzoeken en gekoppeld worden. Dit eist de nodige koerskorrekties en zal zeker enige tijd kosten, waarin ze een gedeelte van hun baan om de maan beschrijven. Daarna kunnen de twee ontdekkingsreizigers weer in de Apollo-kabine terugkeren. De Lem wordt nu achtergelaten in een baan om de maan, de motor van de service module wordt op het juiste tijdstip opnieuw gedurende 2,5 minuut aangezet en de terugkeer naar de aarde begint. Koerskorrekties halverwege worden ook door deze motor uitgevoerd. Na ongeveer 2,5 dag, vlak voor het binnentreden in de atmosfeer, wordt de service module afgeworpen en de Apollo-kabine 180° gedraaid en gestabiliseerd. Zij keert terug in de dampkring net als bij het projekt-Gemini en -Mercury met behulp van een hitteschild, dat op 15 km hoogte wordt afgeworpen, terwijl tenslotte een parachutelanding volgt, desnoods op het land.

De Lem is intussen van het stadium van tekening en ontwerp gekomen in de fase van konstruktie. Er worden 20 van deze toestellen gebouwd, 9 voor grondtesten en 11 om te lanceren. Grumman Aircraft Engineering Corporation ontwierp het en voltooide eerst een volledig proefmodel op ware grootte (pl. XIX). Er zullen zeker nog de nodige verbeteringen in worden aangebracht in de tijd tussen het schrijven van dit boek en de eerste maanlanding, maar de grote lijnen liggen tamelijk vast.

De Lem is bijna 6,5 m lang met een diameter van iets meer dan 5 m, als het landingsgestel is uitgeklapt. In het nieuwe ontwerp zijn twee van de vier geprojekteerde brandstoftanks weggelaten. Het nadeel is nu een asymmetrische rangschikking der tanks, hetgeen problemen voor de stabilisatie veroorzaakt. Het ontwerp

weegt 13500 kg, omstreeks 2 ton te zwaar. Men wil er nog wel wat aan dokteren. Anders kan men in de kabine of in de service module nog iets veranderen. Tijdens de definitieve landing op de maan zullen de astronauten niet behoeven te gaan liggen, omdat de vertraging daarbij veel minder is dan bij een landing op aarde. De astronauten kunnen staande uit twee driehoekige raampjes naar buiten kijken. Ieder venster bestaat uit drie lagen, de binnenste is in staat de luchtdruk in de kabine te weerstaan, de buitenste dient als beveiliging tegen mikrometeoroïden.

Er is een cirkelvormige ingang onder het instrumentenbord en een in de bovenkant achter de bemanning. Geen van beide heeft een luchtsluis, omdat twee luchtsluizen evenveel wegen als de zuurstof die nodig is om de kabine acht keer opnieuw van lucht te voorzien. Er wordt voldoende reservezuurstof meegenomen om de kabine zes keer te vullen en om de draagbare tanks, die de astronauten op de maanbodem zullen gebruiken, eveneens zes keer te vullen. De Lem kan per radio zowel direkt met de aarde als met het moederschip spreken, terwijl ook kontakt mogelijk is met de op de maan rondwandelende astronaut. Ook is het mogelijk televisie-uitzendingen te verzorgen binnen en buiten de Lem.

Om dit driedelige ruimteschip naar de maan te brengen, is de Saturnus 1 B niet sterk genoeg. Daarvoor is de Saturnus 5 bestemd, die 41 ton naar de maan kan transporteren. Dit reusachtige gevaarte van meer dan 100 m hoog (fig. 52), waarvan de eerste trap bij de start 3400000 kg stuwkracht levert, zou een klein vrachtschip of een volgeladen goederentrein met meer dan 100 wagons van het aardoppervlak in het heelal kunnen brengen. Alleen al de zes geprojekteerde proeflandingen zullen 600 miljoen dollar kosten. In januari 1962 werd definitief tot de bouw van de raket besloten. Reeds in 1967 is het grote startkomplex 39 klaar voor gebruik. De eerste Saturnus 5 zal twee met water beladen volgende trappen bevatten en een Apollo-kapsule als ballast. Reeds de volgende echter zal ook een echte tweede trap omhoog brengen en de derde zal geheel kompleet zijn. Bij de vierde lancering beginnen de eigenlijke proeven met de Apollo en de zevende Saturnus 5 zal drie astronauten om de aarde laten cirkelen.

Marshall Space Flight Center en Boeing Aircraft Company

werken aan de eerste trap. Het grootste probleem vormt de konstruktie hiervan. Ieder van de vijf F 1-motoren is 5,5 m hoog en weegt zonder toevoerleidingen al 9 ton. De turbopomp van de brandstoftoevoer van een F 1 presteert even veel als de voortstuwingsinstallatie van een groot oceaanschip, namelijk 60000

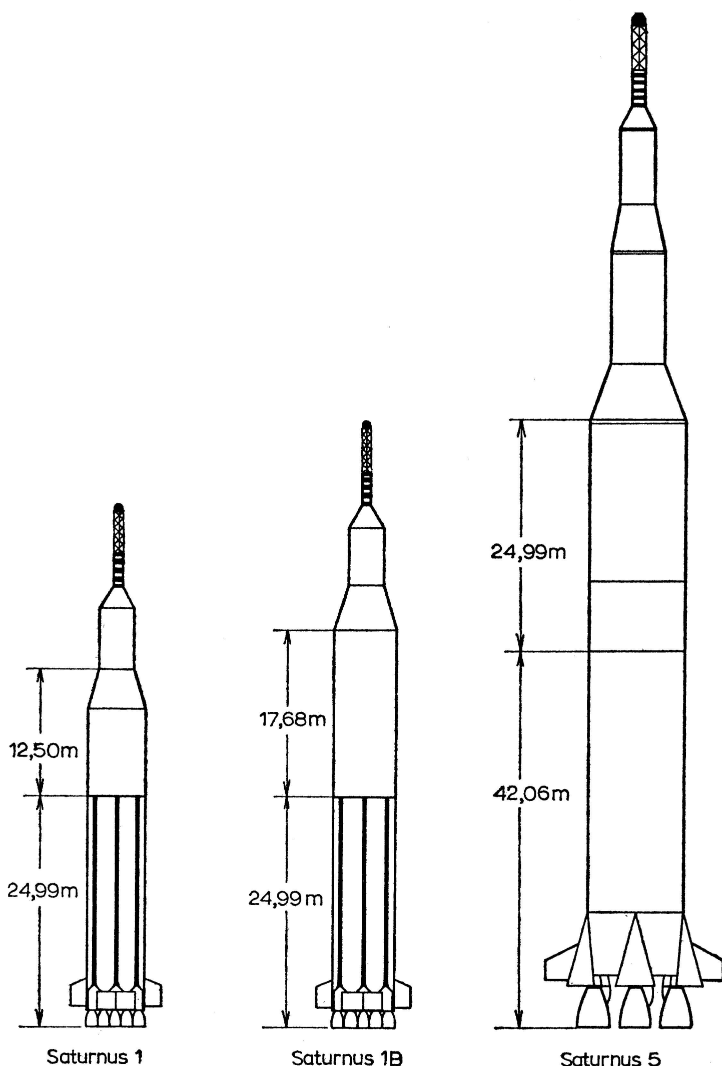


Fig. 52 Saturnus 1, Saturnus 1 B en Saturnus 5 in grootte vergeleken.

pk. De ontwikkeling van deze motor is een weg met een lange reeks moeilijkheden en tegenslagen geweest.

Voor het assembleren van de Saturnus 5 op komplex 39 is een 160 m hoge gesloten stalen hal gebouwd van 156 m lang. Dit is het grootste gebouw van de wereld. Vanuit deze superwolkenkrabber worden de in elkaar gezette raketten op een speciale manier naar een van de twee op 4 km van de hal verwijderde lanceerplatformen getransporteerd. Op komplex 39 zijn twee geweldige 40 m hoge startplatformen gebouwd. De beide transportbanden, die 'crawler' worden genoemd, hebben een oppervlakte van 45 m bij 41 m en dragen behalve de raket ook nog een 130 m hoge stalen kontroletoren. Nadat de raket geplaatst is, wordt nog een ander torengebouw aangereden, dat diverse vaste-brandstofraketten en andere zeer explosieve onderdelen aanvoert en gelegenheid geeft die te monteren. Pas dan kan de geweldige ruimtereus met brandstof worden gevuld.

Zo'n reis naar de maan eist echter meer dan alleen reusachtige lanceerkomplexen, gigantische raketten en getrainde astronauten. Om het in de uitgestrekte wereldruimte voortijlende ruimteschip op de juiste koers te houden, moet het maanschip worden waargenomen en haar radioseinen moeten worden gevolgd. De afstand en de juiste stand in de baan moeten ieder ogenblik bekend zijn. Radioseinen moeten onophoudelijk van de Apollo en terug over grote afstanden het heelal doorkruisen. Het waarnemen en de kommunikatie met satellieten en ruimtesondes vormt een apart hoofdstuk in de geschiedenis van de ruimtevaart.

Toen de Amerikanen aan de vooravond van het Geofysische Jaar besloten tot het lanceren van kunstmaantjes, stelden zij aan vele amateurs voor om groepen te vormen voor het waarnemen van die zwakke satellieten met kleine kijkertjes. Uit een reeks precieze bepalingen van de positie van zo'n maantje op een nauwkeurig vastgesteld tijdstip valt de baan te berekenen. Dit *projekt-Moonwatch* had veel sukses; grote aantallen waarnemingsgroepen in en buiten de Verenigde Staten bereidden zich voor op hun taak. Plotseling verrasten de Russische Spoetniks deze paraat staande waarnemingsgroepen; zij konden onmiddellijk aan de slag en deden dat dan ook. Uit hun waarnemingen zijn een groot aantal eindresultaten uit het begin van de ruimtevaarttijd afgeleid. Ook in Nederland waren die eerste Spoetniks met

het blote oog uitstekend waar te nemen. Spoedig ontstond een groepje aktieve kunstmaanwaarnemers. Aanvankelijk geleid door de Werkgroep Meteoren van de Nederlandse Vereniging voor Weer- en Sterrekunde, later door de kunstmaandienst van de Sterrewacht te Utrecht, hielden zij zich in de eerste tijd zonder kijkers bezig met het visueel waarnemen van de kunstmanen. Dat dit ook van Russische kant zeer gewaardeerd werd, blijkt uit het feit dat de individuele waarnemers in de eerste tijd regelmatig per telegram regelrecht vanuit Moskou op de hoogte werden gesteld van het verwachte tijdstip en de verwachte richting van het overkomen van een Spoetnik. Visuele plaatsbepaling is echter bij de vaak zwakkere satellieten onmogelijk en nooit zeer nauwkeurig en daarom zijn de huidige deelnemers van deze nog steeds aktieve groep er geleidelijk toe over gegaan de kunstmaantjes te fotograferen met daarvoor geschikte kijkers.

Het fotografische waarnemen was trouwens ook al door de Amerikanen georganiseerd. Daar de kunstmaantjes zich snel bewegen (meer dan 1°/sek.) en dikwijls zeer lichtzwak zijn, werden aan de kamera's hoge eisen gesteld. Een kamera die aan die eisen voldoet was ontworpen door de heer Baker van Spica Inc. Hij was ook de ontwerper van de Super Schmidt meteoorkamera's. De snel bewegende kunstmaantjes zijn wel enigszins met meteoren te vergelijken, althans wat het fotografische waarnemen er van betreft. Het bruikbare veld van deze kamera's bedraagt 30° en hun openingsverhouding f/1. Ze zijn voorzien van een korrektieplaat, bestaande uit drie komponenten, waarvan de twee buitenste oppervlakken bolvormig zijn, terwijl de vier binnenste een andere gebogen vorm hebben. Het licht valt door die plaat op de spiegel. Deze is sferisch en heeft een diameter van 77,5 cm. Nu wordt 80 procent van het invallende licht precies gefocusseerd. Het brandvlak wijkt iets af van de bolvorm. De kijker volgt de satelliet en daardoor wordt de expositietijd aanmerkelijk bekort. De sterren worden daardoor als streepjes afgebeeld. Deze werkwijze past men in de astronomie vooral bij planetoïden toe, omdat dat ook bewegende hemellichten zijn met meestal geringe helderheid.

De opstelling van de kijker is zodanig, dat deze zich in drie richtingen langs de hemel kan bewegen (bij gewone kijkers zijn het er slechts twee). Dit heeft men weten te bereiken door de

kijker draaibaar te maken om drie assen. Omdat veranderingen in de emulsie of in de vorm van de film meetfouten kunnen veroorzaken, kan men de kamera heen en weer laten springen, zodat deze om de beurt de satelliet en de sterren volgt: dan komen ook de zwakke sterren op de film. Door een roterende afsluiting met twee openingen verkrijgt men onderbrekingen in de stersporen als referentiepunten voor tijdsbepalingen. Een opname sterren-satelliet-sterren kan 2, 4, 8, 16 of 32 sekonden duren al naar de helderheid van de satelliet. Op een bepaald tijdstip wordt automatisch de tijd op de film opgenomen. Dit geschiedt tijdens de belichting van de satelliet. De tijd moet zeer precies bekend zijn tot op 0,0004 sekonde, omdat de kunstmaan soms zeer snel beweegt. Dit kan alleen maar met kwartsklokken. Van dit soort kamera's waren er eind 1958 reeds 12 in gebruik. Zo'n Baker-Nunn-kamera kost 70000 dollar. Ze bevinden zich op de volgende plaatsen: het prototype in New Mexico, andere in Tokio, Cadiz (Spanje), Australië, Bloemfontein (Zuid-Afrika), Curaçao, Dekra (India), Arequipa (Peru), Iran, Florida, Argentinië en Hawaii.

Deze fotografische waarnemingsposten vormden als het ware de eerste stap voor het volgsysteem van de kunstmanen en de ruimteschepen. Men slaagde er spoedig in deze van radiozenders te voorzien, die soms lange tijd konden werken. Zo ontstond de behoefte aan radiovolgstations. Voor ruimteschepen naar maan en planeten is men geheel op radioseinen aangewezen. Op 29 april 1966 werd een van de grootste volgstations voor ruimteschepen in gebruik gesteld in Californië op het daargelegen Goldstone Communication Complex van de NASA. Dit 'Deep Space Network' is nu voorzien van een in alle richtingen draaibare parabolische antenne met een diameter van 64 m, die kan kommuniceren met ruimteschepen tot aan de grenzen van ons zonnestelsel. Zij is even groot als de radioteleskoop in Australië, en wordt alleen overtroffen door de 76-m-teleskoop van Jodrell Bank in Engeland. Deze laatste zijn echter voor astronomische doeleinden gebouwd. De nog grotere (meer dan 90 m in diameter) te Green Bank (West-Virginia) en de parabolische antenne van meer dan 300 m te Arecibo in Puerto Rico kunnen alleen maar naar een bepaald gedeelte van de hemel worden gericht. De radiogolven, die de grote spiegel opvangt, worden naar een sekondaire spiegel teruggekaatst, die ze weer reflekteert in

een ontvangstkegel in het centrum van de grote spiegel. Deze bestaat uit vier delen en door het meedraaien van de antenne wordt ervoor gezorgd, dat de energie die op elk van die vier delen valt even sterk blijft. Zo volgt men het ruimteschip. Het signaal wordt 400 000 keer versterkt in een met vloeibaar helium (4 °K) gekoelde versterkapparatuur, die de ruis van de achtergrond elimineert. De gegevens van de ontvanger, zoals de waarnemingsrichting, de dopplerfrekwentie van het signaal en verdere meetresultaten, worden direkt doorgezonden naar het centrum van de Space Flight Operation Facility in Pasadena voor bewerking in de rekenmachines.

Soortgelijke instrumenten zullen gebouwd worden op andere plaatsen, waar zich nu reeds volgstations met kleinere apparatuur bevinden, zoals in Australië, Zuid-Afrika en Spanje. Eén zo'n projekt kost 14 miljoen dollar; met elkaar vormen ze een van de vele voorbereidingen voor de reis naar de maan.

Wij beperken onze bespreking tot het Amerikaanse maanprogramma. Sommigen vragen zich af of ook in dit opzicht de Russen de Amerikanen straks niet voor zullen zijn. Zullen zij geen gebruik maken van de gegevens, die de Amerikanen de gehele wereld zo gul verstrekken en in het grootste geheim werken aan soortgelijke plannen? Zullen zij ons daarna binnenkort verrassen met de landing van de eerste Rus op de maan nog voor de Amerikanen? Wij weten van de Russen uiterst weinig. Pas op de luchtvaarttentoonstelling in Parijs in 1967 vertoonden zij hun geweldige raketten, die de Vostoks lanceerden en verstrekten allerlei gegevens. Hun plannen kennen we echter niet en wij zullen hier niet nader ingaan op de geringe en vage gegevens, die men daarover heeft. Het Russische maanprojekt Loena hebben we reeds uitvoerig besproken. De maan is een enorm groot gebied. Het is verheugend, dat de beide grote wereldmachten bereid zijn gebleken overeenkomsten over de ruimte te treffen. De maan en de hemellichamen zullen niet aan een bepaalde aardse mogendheid behoren. De maan zal noch Russisch noch Amerikaans worden. Overeenstemming in dit opzicht is een eerste stap in een goede richting, die in de toekomst zal kunnen leiden tot een verdere samenwerking ook op het gebied van andere ruimtevaartprojekten. Wij zullen dan ook in de beide volgende hoofdstukken geen verdere aandacht schenken aan mogelijke Russische plannen.

zestiende hoofdstuk

wij grijpen naar de maan

De landing op de maan – De maan is 5 × Australië – Maankraters en hun geheimen – Het ontstaan der maanbergen – Kaarten sinds vier eeuwen – Moderne fotografische atlassen – De Air Force kaart – Inslagkraters op aarde en maan – Een landschap uit de prehistorie – Het projekt-Ranger – Hoe moeilijk de weg was – Eindelijk sukses – De maan van dichtbij – Ranger 8 ziet spleten en kloven – Alphonsus verkend door Ranger 9 – Wat de Rangers ons vertelden – Vulkanen of inslagkraters – Een karstlandschap op de maan – Landingen worden een feit – De geslaagde Surveyors – Foto's op de maan genomen – Lunar Orbiters fotograferen de maanwereld – Op zoek naar landingsplaatsen – Graafwerk op de maan.

De landing op de maan kan men beter vergelijken met de verkenning van de zuidpool dan met de tocht van Columbus. – De laatste ontdekte weliswaar na een moeizame tocht met veel ontberingen een geheel nieuwe wereld, maar toch door mensen bewoond. De mensheid had al lang voor de tijd van Columbus de weg naar Amerika gevonden, al was dat dan over land. Het bestaan van het grimmige zuidpoolgebied was al voor onze tijd bekend, maar nog steeds onverkend. Temidden van de onbewoonbare vijandige natuur in de kilometers diep bevroren ijsvlakten van het zuidpoolland was men nog nooit doorgedrongen. Pas de technische hulpmiddelen van onze tijd maakten dat langzamerhand mogelijk.

Nog sterker geldt dit voor de maan. Pas een aantal eeuwen beseffen wij, dat het een wereld is als de onze. Nog tien jaar geleden was de maan een betrekkelijk verwaarloosd gebied van de sterrekunde. Slechts enkele astronomen hielden zich er af en toe mee bezig. Het was weliswaar algemeen interessant gevonden, maar toch op het ekonomische vlak niet direkt een nuttige bezigheid. Natuurlijk kan men wel een aantal direkte toepassingen opsommen en het indirekte nut vooral ook van het fysisch maanonderzoek toelichten, maar dit alles spreekt veel minder tot het grote publiek dan de direkte belangen van de ruimtevaart.

Nu, na tien jaar, is dat volkomen veranderd. Tientallen astronomen in allerlei landen en vele research-laboratoria werken intensief op het gebied van de selenologie of maankunde. Hoewel nog niemand met zekerheid een uitspraak kan doen over het werkelijke ekonomische nut van de komende maanbasis, spannen niettemin Amerikanen en waarschijnlijk ook Russen zich intensief in om dat doel te bereiken. De landing op de maan van de eerste astronauten zal binnen enkele jaren werkelijkheid zijn. Deze uitspraak kan men zonder enig bezwaar doen.

Wetenschappelijk zal die maanlanding een enorm rijke oogst aan gegevens opleveren. Het ziet er naar uit, dat de selenologie een apart vak zal kunnen worden naast de geografie en de astronomie. Laten we ons niet vergissen en de maan zien als een betrekkelijk klein hemellichaam met een straal van 1738 km, ongeveer een derde deel van de straal van de aarde. Dat is astronomisch gezien volkomen juist, maar het oppervlak van die maanbol is 38000000 km², dat is vijfmaal zo groot als het aardse werelddeel Australië. Het is volkomen duidelijk, dat een naar aardse maatstaven zo enorm uitgestrekt gebied niet in enkele jaren valt te verkennen en te exploiteren. Voor onze ontdekkingsdrift ligt hier een rijk en onverkend terrein. Men kan tegenwerpen, dat het zoveel verder weg ligt dan welk aards werelddeel ook, maar een maanreis met onze huidige middelen duurt niet meer dan drie à vier dagen en dat is heel wat korter dan een zeereis naar het zuidpoolgebied. Velen realiseren zich wel de enorme moeilijkheden, die de verkenning van het maanland met zich mee zal brengen en weinigen de onbekende rijkdom op wetenschappelijk terrein en misschien ook aan grondstoffen, die de maan ons zal kunnen bieden. Tenslotte zal dit alles ook mede helpen bij een verdere ontplooiing van de sterrekunde als geheel.

Bij het bespreken van de Russische maanexpedities gaven wij al een beeld van het maanlandschap met zijn duizenden kraters. Het ontstaan van dat maanlandschap is een van de belangrijkste vraagstukken van de moderne selenologie. Om het grote aantal van die merkwaardige kuilen te verklaren, waaronder zulke geweldig grote, zijn er in de loop van de tijd verschillende theorieën opgeworpen. Afgezien van een aantal dat een bijzondere plaats inneemt, zijn de meeste te verdelen in twee groepen. Een deel der theorieën tracht het ontstaan der maanbergen te verklaren door

inwendige oorzaken. Zij veronderstellen, dat gigantische uitbarstingen, te vergelijken met explosies, die op aarde vulkanen, lavastromen en uitbarstingen doen ontstaan, ook op de maan aktief zijn geweest. Zij wijzen op de overeenkomst van de vulkanische maaren in de Eiffel en in Arizona met de maanbergen. Het ontbreken van waarnemingen van de vorming van nieuwe maankraters schrijven zij toe aan het feit, dat het ontstaan van het huidige maanlandschap voor het overgrote deel in een lang vervlogen tijd plaatsgevonden heeft. De maan heeft een veel kleinere massa dan de aarde en de aantrekkingskracht op haar oppervlak is daardoor geringer dan bij ons. Zo is enigszins te begrijpen, dat gigantische uitbarstingen tot de vorming van enorm grote kraters en reusachtige lavavelden aanleiding gaven. Toen de Russische astronoom Kosyrev enkele jaren geleden er in slaagde aan te tonen, dat er op een bepaald moment bij de centrale berg van de grote krater *Alphonsus* gaswolken omhoogkwamen, gaf dat een belangrijke ondersteuning aan dit soort vulkanische wordingstheorieën. Blijkbaar zouden er nog steeds vulkanische processen aktief werkzaam zijn op de maan.

Om hierover zekerheid te verkrijgen, zou het voldoende zijn als men op een bepaald tijdstip een krater zou zien ontstaan of verdwijnen. Dit realiseerde men zich reeds eeuwen geleden en sedert onze landgenoot Van Langeren in 1645 een maankaart publiceerde zijn er heel wat kaarten van het maanoppervlak getekend. In 1651 verscheen de bekende maankaart in het boek van Riccioli, die een groot aantal details van namen voorzag; deze nomenclatuur is tot op de huidige dag blijven bestaan.

In de vorige eeuw kwam de maankartografie tot grote bloei. Het begon in 1824 met een paar prachtige kaarten van Lohrmann, die berusten op nauwkeurig gemeten punten. Van zijn grote maankaart, die hij oorspronkelijk in 25 delen wilde laten verschijnen, zijn er echter slechts vier delen klaar gekomen, omdat een oogkwaal hem belette zijn werk te voltooien. Misschien heeft dit werk zijn landgenoot Mädler geïnspireerd om met veel energie aan het werk te gaan met een nieuwe maankartografie. Het werk van Mädler, gefinancierd door de bankier Beer, berustte op jaren van nauwkeurig meten en waarnemen en werd tenslotte in 1834 bekroond met de uitgave van een schitterende maankaart met een middellijn van bijna een meter, waarbij

later een uitvoerige beschrijving en de resultaten van een groot aantal metingen van de hoogten van bergen werden gevoegd. In 1874 vervaardige Julius Schmidt de meest volledige maankaart van zijn tijd. Dit was echter tevens de laatste maankaart, die aan de kijker door visuele waarnemingen werd ontworpen. Behalve in een enkel dubieus geval was men er, zoals wij reeds opmerkten, niet in geslaagd met zekerheid veranderingen op het maanoppervlak te bespeuren.

Met behulp van de grote kijkers, waarvan in het laatste deel van de vorige eeuw in Amerika als eerste de Lick-refraktor gereed kwam, bleek het mogelijk zeer grote beelden van de maan op te nemen, die dan nog een aantal keren konden worden vergroot. Door voldoende opnamen te maken bij allerlei standen van de maan, kan men een volledige atlas samenstellen van het vanuit de aarde zichtbare maanoppervlak. Van zulke atlassen zijn er in de loop van de tijd een aantal verschenen, de eerste in 1896 van de Lick-Sterrewacht, de tweede ongeveer in dezelfde tijd van de sterrewacht te Parijs.

Het maken van maankaarten is nu heel wat eenvoudiger geworden dan vroeger. Het maken van een foto eist weliswaar enige voorbereiding, maar het eigenlijke opnemen vergt slechts heel weinig tijd (ten hoogste enkele sekonden) en als de plaat daarna eenmaal is ontwikkeld en afgedrukt, beschikt men over een objektief dokument van het gehele op dat moment opgenomen gebied en dat is vaak de gehele maan, voorzover zichtbaar en verlicht. Een ervaren waarnemer zou ongetwijfeld vele nachten nodig hebben gehad om datzelfde maanlandschap volledig in kaart te brengen, terwijl de foto het in objektiviteit van hem wint, hoe zorgvuldig hij ook werkt. Bovendien geven fotografische opnamen de onderlinge helderheid der details op het ogenblik der opname volkomen zuiver weer, want hoe helderder het detail hoe zwarter het negatief. Weliswaar hebben ook de visuele waarnemers wel getracht helderheidsschattingen te verrichten, maar die waren buitengewoon moeilijk, omdat de nodige geschikte vergelijkingsobjekten ontbraken. Nam men details op de maan als vergelijkingsmateriaal, dan werd de nauwkeurigheid aanzienlijk verminderd, omdat het vergelijkingspunt ook van helderheid verandert en wel op van tevoren onbekende wijze. Met de komst van de fotografie was hieraan een einde gekomen en kon

de maanfotometrie tot ontwikkeling komen. Zoals wij in hoofdstuk VII reeds zagen was zij van belang voor onze kennis van de aard van de maanbodem.

In 1960 verscheen een meesterwerk op het gebied van de fotokartering van de maan: de grote fotografische atlas van Kuiper, die gebaseerd is op de beste opnamen van de grootste kijkers ter wereld. Er werd een selektie gemaakt uit de meer dan 1000 maanopnamen van de Mount Wilsonkijker in Californië (middellijn der spiegel 2,5 m), een groot aantal foto's van de Lick-Sterrewacht (lenzenkijker van 91 cm), 400 foto's van de MacDonaldkijker (208 cm spiegelteleskoop), meer dan 400 van Yerkes (102 cm lenzenkijker) en een aantal opnamen van de Franse sterrewacht op de Pic du Midi. De tot stand gekomen atlas geeft ieder deel van de maan zoveel mogelijk bij vier verschillende belichtingen weer. De op de opnamen zichtbare details zijn visueel pas volledig zichtbaar in een 30 cm-kijker en dan nog alleen bij ideale weerstoestand.

Al deze kaarten zijn echter niet bruikbaar voor de astronauten bij hun landing op de maan. De Amerikaanse luchtmacht, de Universiteit van Manchester, de Universiteit van Arizona en de sterrewacht op de Pic du Midi zijn nu bezig een nauwkeurige topografische kaart van de maan te vervaardigen op schaal 1 op 1000000. Op de Pic du Midi zijn reeds duizenden foto's hiervoor gemaakt, die bewerkt worden in het 'Aeronautical Chart and Information Center' van de Amerikaanse luchtmacht in St. Louis. De zichtbare maanhelft wordt op 84 detailkaarten afgebeeld met drie projektiesystemen voor verschillende breedte. De hoogten worden vermeld en afgeleid uit schaduwmetingen, die in Manchester zijn uitgevoerd. Positiebepaling op de kaart is tot op 1 km nauwkeurig uit te voeren, hoogten zijn tot op 10 m precies.

Een ander deel der selenologen verklaart het ontstaan van de maankraters door het inslaan van objekten uit de wereldruimte. Vooral kort na het ontstaan van het zonnestelsel was de ruimte tussen de planeten gevuld met veel kleine en grote brokken materie. Deze bouwstenen van de planeten worden wel planetesimalen genoemd. Het merendeel is vrij spoedig op de zich vormende planeten terechtgekomen. Zowel aarde, maan als Mars vingen ze op en werden daarbij door even zovele inslagen ge-

troffen. Als zo'n klomp materie op een wereldbol inslaat, vindt een reusachtige explosie plaats. Die explosie ontstaat, doordat de bewegingsenergie van het inslaande objekt plotseling vrijkomt. Het wordt ineens gestuit in zijn beweging en de dan vrijkomende energiehoeveelheden zijn zo enorm, dat er een geweldige uitbarsting plaatsvindt.

Ook op aarde zijn er dergelijke explosiekraters gevormd, zelfs nog in de historische tijd; lang voor die tijd echter veel meer. De restanten ervan zijn op allerlei plaatsen te vinden. Door onderzoek van de ondergrond heeft men zich een uitstekend beeld kunnen vormen van de gigantische krachten, die de aardkorst aanvreten op het ogenblik, waarop zo'n projektiel uit het heelal inslaat. Nog niet zo lang geleden meende men, dat er van dit soort kraters maar een klein aantal op aarde bestond. Reeds lang kende men de Arizonakrater in Amerika, die algemeen beschouwd wordt als een van de duidelijkste prototypen. In Estland vindt men enkele – kleinere – soortgelijke kraters, evenals een aantal in Australië. In de laatste jaren zijn er nog vele bekend geworden. In Arabië, Australië, Afrika en vooral in Canada, overal waar de geologische toestand van het terrein dat toeliet, werd – na intensief speurwerk – een aantal meteoorkraters gevonden. Vele werden pas ontdekt na boringen en grondonderzoek. De boorkernen uit de diepte lieten zien, dat er zich daar diepe lagen brecciën bevonden, die ontstaan waren bij het inslaan van een stuk materie uit de wereldruimte. In Canada vooral is dat onderzoek op grote schaal uitgevoerd en fossielen van reusachtige inslagkraters van duizenden meters diameter werden er aangetroffen. Daarnaast is er over het aardoppervlak verspreid nog een aantal kraters, waarvan men de explosieve oorsprong nog niet met voldoende zekerheid heeft vastgesteld. Meestal gaat het om grote komvormige inzinkingen, vaak met een centrale berg en met intense breccievorming aan de buitenkant. Heel bekend zijn de 24 km grote Rieskrater in Duitsland en de 40 km grote Vredefortring in Zuid-Afrika.

Dietz vond in een aantal explosiekraters een merkwaardig gevormd materiaal. Door de enorme druk, die bij zo'n explosie optreedt, vormen zich zogenaamde explosiekegels. Het gesteente wordt kegelvormig vervormd tot grote kegelstralen, waarop zich weer halfkegels vormen. Hun afmeting varieert van 1 cm tot

12 m, afhankelijk van de dikte van de laag, waarin ze liggen. Ze worden gevormd door een intense schok. De druk van 100000 atmosfeer die bij een inslag optreedt, kan dat verklaren. Vulkanische explosies van een dergelijke kracht zijn ondenkbaar. Men heeft de werking van de inslag van een meteoriet kunnen vergelijken met explosies van kernladingen onder de grond, waarbij ook een enorme hoeveelheid energie vrijkomt in een kort ogenblik. De vorm van de kernexplosiekraters is dan ook volkomen gelijk aan die van de meteorietkraters. Ook in afmetingen zijn ze met die kraters vergelijkbaar. Ook hier vindt men explosiekegels en treden dikke lagen brecciën op tot op grote diepten, tengevolge van het snel in het gesteente voortijlende schokfront.

Baldwin vergeleek tien jaar geleden al die soorten kraters en bepaalde nauwkeurig het verband tussen de diameter en de diepte. Op het oog verdeelde hij de maankraters in vier soorten. Deze indeling was een eerste stap op het toen nog onbetreden pad der maangeologie. Zijn eerste soort omvat de meest recente formaties. Hij gaat ervan uit, dat de grote maankraters door inslag zijn ontstaan. De meest recente zullen gaaf zijn en in hun wallen en bodem ontbreken kleinere kraters. Hoe meer kleinere kraters wal en bodem sieren, hoe ouder de ringberg zal zijn, volgens Baldwin. Voor klasse I vindt hij een relatie tussen diameter en diepte, die aansluit bij eenzelfde betrekking voor bomkraters door normale explosieven op aarde. De kernexplosiekraters en de meteorietkraters vormen de tussenschakel, die beide verbindt.

Zo was de toestand van onze kennis van de bergwereld op de maan en van de maanbodem, die wij willen betreden. Voor een werkelijke landing zonder te veel risiko's op de maan zal men echter over veel meer gegevens en veel gedetailleerdere kaarten moeten beschikken. Daarom richtte op 21 december 1959 het hoofd van het NASA Office of Space Flight Program een brief aan de direktie van het Jet Propulsion Laboratory, waarin hij deze verzocht een studie te gaan maken van een ruimteschip, dat in staat zou zijn van dichtbij foto's te maken van het maanoppervlak. De eerste stap voor het *projekt-Ranger* was gedaan.

Op 23 augustus en op 18 november 1961 werden de beide eerste prototypen gelanceerd met een Atlas-Agena B-raket. De Pioniers, de eerste Amerikaanse maanverkenners, waren niet,

zoals de Rangers, in staat in elke gewenste richting te draaien. Nu is het mogelijk de snelheid en dus ook de baan van de Rangers te korrigeren. Een Ranger vormt een gestabiliseerd platform. Door een zonnezoeker worden de zonnecellen op de zon gericht, waardoor het opgewekte vermogen maximaal is. Een gerichte parabolische antenne van 20 cm was op de aarde ingesteld en gaf een zo goed mogelijke radioverbinding. De zonnezoeker bestaat uit een staafje, dat op twee op de juiste wijze aaneengeschakelde zonnecellen een even sterke schaduw moet geven. Het is daarom alleen mogelijk de Rangers even voor laatste kwartier te lanceren. De sensor werkt alleen goed als aarde, zon en maan niet in een rechte lijn staan. Lanceringen bij volle of nieuwe maan zijn dus ongewenst. Ook eerste kwartier kan men beter vermijden, omdat dan de Ranger waarschijnlijk aan de donkere kant van de maan terechtkomt. De wendbaarheid van het ruimteschip wordt verkregen door kleine raketjes, die werken op samengeperste stikstof.

Bij de eerste Ranger lukte het niet de Agena voor een tweede keer te starten; daardoor bleef de Ranger in de parkeerbaan om de aarde en verging na zeven dagen. Ook bij Ranger 2 werkte de tweede trap bijna niet. Ranger 3 werd op 26 januari 1962 gelanceerd en passeerde de maan op 37000 km afstand. Hij kreeg te veel snelheid en bereikte reeds na 51 uur het gebied van de maan. Vanuit Californië gaf men de televisiekamera een sein om met waarnemen te beginnen. De kamera richtte zich wel op de maan, maar de zender kreeg onvoldoende stroom beschikbaar. Deze Ranger is nu een kunstplaneet. Ook Ranger 4 (23 april 1962) was geen sukses, want het stabilisatiesysteem werkte niet goed. Tuimelend sloeg Ranger 4 in op de achterkant van de maan. Door die onkontroleerbare bewegingen kregen de zonnepanelen geen licht op de cellen en was er geen stroom. Alleen een zwak zendertje, dat werkte op batterijen en dat de seismometer die op de maan zou worden neergelaten van stroom zou moeten voorzien, lichtte ons in over het gebeuren. Bij Ranger 5 (18 oktober 1962) weigerden de zonnecellen te werken; hij passeerde de maan op vrij korte afstand.

De zesde Ranger leek een groot sukses te worden. Op 30 januari 1964 vertrok zij, uitgerust met zes televisiekamera's, waarvan vier met telelenzen en twee met groothoeklenzen. Er waren

geen andere instrumenten aan boord. De koerskorrektie, zestien uur na de start, slaagde goed, want anders had de Ranger de maan op 1000 km gemist. Op het kritieke moment weigerden de kamera's echter te werken. Het schijnt, dat ze door een kortsluiting ingeschakeld zijn geweest en doorgebrand zijn tijdens de lancering. Op 2 februari sloeg deze Ranger in op de maan op 90 km ten noordoosten van Arago in de Mare Tranquillitatis.

Eindelijk bracht Ranger 7 het zo lang gewenste resultaat. Deze vertrok van de aarde op 28 juli 1964 en de 360 kg zware kapsule was zo goed gericht, dat zij zelfs zonder baankorrektie op de maan terecht zou zijn gekomen (maar dan op de achterkant). Op 29 juli werd de baan dan toch maar gekorrigeerd. Op 31 juli om 13^h08^m UT werd de batterij televisiekamera's aangezet. Twee radioteleskopen in Goldstone volgden en namen de seinen op. De televisiekamera's zaten in de afgeknotte kegel en wogen 172 kg. De kegel was 150 cm hoog, de bovenkant was 40 cm en de onderkant 70 cm in diameter. De zes kamera's staken uit een 30 cm brede opening. Het beeld werd gevormd op een vidiconbuis en werd afgetast door een elektronenstraal. Alle kamera's hadden een diepteschepte tussen 800 m en 1750 km. Men gebruikte zes kamera's, omdat de lichtsterkte van het maanoppervlak niet bekend was.

Van de laatste ogenblikken van de Ranger is een film gemaakt. Indrukwekkend is het te zien hoe langzaam de maanwereld nadert voor onze ogen via de televisiekamera. Steeds dichterbij komt de op dat ogenblik nog volkomen onbekende bodem. Ringbergen worden snel groter en steeds kleinere kuilen en gaten worden zichtbaar. Uiteindelijk overzien we een klein stukje maanland ter grootte van een voetbalveld. Het doelgebied bevond zich in een anonieme donkere vlakte, die daarna Mare Cognitum is genoemd. Door deze vlakte lopen uitlopers van het stralensysteem van Tycho en Copernicus. De laatste opnamen van de Ranger 7 vallen op door een groot aantal kraters van een nieuw type. Het bestaan daarvan was reeds lange tijd vermoed en in een uitgebreid onderzoek van de bouw van het maanlandschap rondom Copernicus had Shoemaker reeds op het bestaan daarvan gewezen. Hij noemde ze *secondaire kraters*, waarbij hij aannam dat deze kraters gevormd werden bij of onmiddellijk na het ontstaan van de primaire krater, waarbij ze behoren. Aan de top van

een straalelement is dikwijls een klein kratertje te zien; dit schijnt met dat element samen te hangen. Zo'n kuiltje is meestal verlengd van vorm, ondiep en haast zonder wal. Het zijn min of meer elliptische kuiltjes en de lange as loopt in de richting van de primaire krater, waar het straalelement ook toe behoort.

Ranger 8 werd op 17 februari 1965 gelanceerd en werd eveneens een groot sukses. De kamera's werden al op grotere afstand van de maan in werking gesteld om meer foto's te verkrijgen. Bij zorgvuldige bestudering met grote kijkers blijkt, dat er in de maanbodem een groot aantal scheuren of barsten voorkomt. Reeds voor de tochten van de Rangers waren er meer dan 1000 bekend. Sommige zijn meer dan 200 km lang, enkele kilometers breed, terwijl de diepte meestal een derde deel van de breedte bedraagt. Men kent slechts enkele nauwe ondiepe spleten met steile wanden, maar het merendeel is breed en ondiep. De barsten en spleten van de maan worden veelal met de naam *rillen* aangeduid. Ten westen van Copernicus vindt men voorbeelden van een merkwaardig soort rillen, dat bestaat uit een aaneengesloten keten van kratervormige holten. De kuilen in de spleet zijn enigszins uitgerekt in de richting van de spleet. Het ontstaan van die rillen kan samen hangen met vulkanische verschijnselen. Het is ook mogelijk, dat plaatselijk opgetreden drukverschillen verschuivingen in het gesteente hebben veroorzaakt van aanzienlijke hoeveelheden materie, waardoor spleten gevormd zijn. Op de lavavelden in IJsland vindt men ook vaak zeer langgerekte spleten in de bodem. De Ranger 8 heeft een paar spleten zeer gedetailleerd opgenomen. De groeven op die foto's lijken op reusachtige snelwegen. De allerlaatste opnamen van zeer dichtbij laten zien, dat zo'n ril slechts een enorm breed dal is met zacht glooiende hellingen, heel wat minder steil omzoomd dan lineaire dalen op aarde, zoals de Rijnvlakte tussen de Vogezen en het Zwarte Woud.

Het Ranger-programma werd afgesloten met de vlucht van de Ranger 9 (21 maart 1965), die gericht was op de ringberg Alphonsus. De Ranger kwam slechts 5 km van het beoogde doel terecht na een vlucht van 64,5 uur. Er werd aan het einde van de vlucht nog een extra korrektie uitgevoerd, zodat de kamera in de richting van de vlucht was gericht, waardoor de laatste plaatjes een beter oplossend vermogen vertonen (pl. xx). Het inslagpunt

was in Alphonsus gekozen, omdat het centrum van deze krater nog sporen van vulkanisme zou vertonen. Bekend is het werk van de Russische astronoom Kosyrev, die gaswolken meende te hebben waargenomen boven de centrale berg van Alphonsus.

Het inwendige van de krater lijkt veel ouder dan de naburige Mare Nubium. Dit volgt uit bestudering van de opnamen van de Ranger 9. Men gaat uit van het feit, dat van twee oppervlakken die aan dezelfde stroom van inslaande planetesimalen blootgesteld zijn geweest het oudste van de twee de meeste littekens in de vorm van kraters zal vertonen. Door in twee gebieden de kraters van verschillende grootte te tellen, krijgt men een frekwentiekromme. Zouden beide gebieden even oud zijn, dan vallen die beide statistische verdelingen samen. Blijft de stroom inslaande objekten en de verdeling ervan over verschillende grootten konstant in de loop van de tijd, dan zal het oudste van beide gebieden meer kraters van allerlei soort vertonen en de beide frekwentiekrommen zullen evenwijdig zijn. Is het aantal inslaande brokken in aantal afgenomen sinds de vorming van het zonnestelsel, dan zullen de krommen nog steeds evenwijdig zijn, mits de verdeling van de planetesimalen over verschillende grootten niet is veranderd. Is dat wel het geval, dan zal het oudste oppervlak nog steeds een grotere frekwentie vertonen, maar beide krommen zijn niet meer evenwijdig. Uit tellingen in een aantal vlakten blijkt, dat de waargenomen statistische verdelingen inderdaad vaak bijna evenwijdig zijn; het is mogelijk de volgorde van vorming van die vlakten te dateren. De wallen van Alphonsus beschermden het inwendige tegen overstroming door lava. Het inwendige van de krater behoort tot de oudste gebieden van het maanoppervlak, de wallen zijn veel recenter. Ze zijn echter ouder dan Mare Nubium. Temidden van de wallen ligt een donker lavaveld, dat van de vlakte werd afgesnoerd bij de vorming van de wal. Het ligt haast even hoog als de bodem van Alphonsus. Ook ziet men in de krater een zeer zwarte vlek met een zeer lage albedo. In het midden ervan ligt een kraterachtige diepe formatie. Deze bevindt zich op een ril. Uit de krater stroomde blijkbaar donker materiaal, dat misschien veel koolstof bevatte. Misschien is de krater vergelijkbaar met de maaren in de Eifel.

Niet alle kraters zijn van dezelfde oorsprong. Er zijn inslagkraters, waarvan de grootste door stralen worden omgeven. De witte stralenstelsels lijken jong en uit de albedo volgt een datering der kraters. Een groot deel van het bij de inslag weggeblazen materiaal bedekt bijna de gehele maan als een uiterst dunne laag as. Uit boringen in de bodem hoopt men te zijner tijd het ontstaan van grote kraters als Tycho, Copernicus e.d. te kunnen dateren.

Uit de foto's van de Rangers blijkt, dat een groot deel van de kraters de vorm heeft van zeer langgerekte ondiepe formaties. We noemen het *kraterkommen*. Het zijn geen inslagformaties, daarvoor is hun diameter veel te groot ten opzichte van hun diepte. Het zijn inzakkingen in de bodem, waarschijnlijk ontstaan bij het ontsnappen van gassen. Kuiper vergelijkt ze met de aardse karstverschijnselen, die genoemd zijn naar een kalksteenplateau in Zuid-Slavië, waar door de oplossing van kalkzouten en instorting typische vormen zijn ontstaan als grotten en zogenaamde verdwijngaten, instortingskraters en ondiepe depressies, *karstkommen* geheten. Instorten van het plafond leidde tot de vorming van ondiepe kraters. Zeer veel inzinkingen in de maanvlakten zijn zo ontstaan. Het onderscheid tussen de secundaire kraters en de kraterkommen is moeilijk.

Het aantal rotsblokken dat zichtbaar was op de opnamen van de Rangers 7 en 8, was ver onder de geraamde verwachting. Blijkbaar zijn ze bij het ontstaan van de inslagkraters versplinterd of met zoveel kracht weggeslingerd, dat ze diep in de bodem wegzonken of daarmee versmolten. Laboratoriumproeven met silikaten die gesmolten werden en in vacuüm stolden, wezen op een draagvermogen van 5 kg/cm^2 voor materialen, die vergelijkbaar zijn met de maanbodem, en daarom zullen grote stenen die met kracht op de maan inslaan, secondaire inslagkraters veroorzaakt hebben en niet boven op de bodem rusten. Enkele malen ziet men in een bepaalde krater de resten van zo'n rotsblok liggen.

Kuiper bestudeerde nader de gebeurtenissen en verschijnselen bij de eruptie van de Laimana-vulkaan op Hawaiï. Hij vond dat, nadat de eruptie was afgelopen en de damp was weggetrokken, de hellingen van de berg gedeeltelijk bedekt waren met een wit sublimaat, bestaande uit waterhoudend calciumsulfaat. Enkele dagen later regende het en het sublimaat werd opgelost en

verdween. Op de maan zullen dan heel wat soorten sublimaten liggen en gedeeltelijk verdampen tijdens de hitte overdag. Merkwaardig is in ieder geval de fel witte struktuurloze bouw van de centrale berg van Alphonsus en dezelfde op wit sublimaat lijkende materie bedekt de hellingen van de wallen van de grote ringberg (pl. xx). Ook secondaire kratertjes, veroorzaakt door weggeslingerde rotsblokken, worden op de Laimana-vulkaan in groten getale gevonden.

Op 21 juni 1966 landde de eerste *Surveyor* op de maan (pl. xxi). Na een geslaagde lancering met een Atlas-Centaur op 30 mei 1966 en een spannende reis, omdat een antenne zich niet uitvouwde, liep alles goed af, terwijl de antenne zich bij de landing bleek te hebben uitgevouwen. De tocht duurde 63 uur en de landing vond plaats 11 km van de berekende plaats in de ringberg Flamsteed. De zachte landing geschiedde met drie precisieraketten op vloeibare brandstof en een retromotor die werkte op vaste brandstof. Op 1600 km van de maan draaide de Surveyor tot de retroraket langs de baan wees. Gyro's kontroleerden de juiste stand. Op 320 km hoogte boven de maan zette een signaal van de aarde de radarkontrole aan. Op 96 km hoogte begon de raket 40 sekonden te werken, de retromotor werd afgeworpen op 10 km hoogte en de drie precisieraketten ontbrandden tot de Surveyor precies op 4 m boven de maanbodem stilstond. De laatste meters vormden een vrije val en het toestel, dat op de maan nog maar 280 : 6 = ca. 47 kg woog, viel op zijn landingsgestel van drie poten voorzien van schokbrekers. De poten bogen iets door en ontspanden zich. De bodem werd een beetje omgewoeld en de onderliggende bodemgrond kwam bloot. *Deze bleek later donkerder dan de bovenste laag!* Men had juist het omgekeerde verwacht, namelijk dat het niet door de zon beschenen materiaal lichter zou zijn. Misschien ligt het lichtere gesteente op grotere diepte.

De Surveyor is 3 m hoog en zijn landingsgestel beslaat een cirkel van 4 m. Na de landing werd een mast uitgestoken met de op de aarde gerichte antenne en het paneel met zonnecellen. Zij kunnen beide in iedere richting gedraaid worden om de aarde, resp. de zon te volgen. De televisiekamera in de Surveyor kijkt omhoog in een spiegel, die 360° in azimut kan draaien en ook beweegbaar is in hoogte. De kamera is ook te focusseren van 1 m tot oneindig en het diafragma is verstelbaar. Er zijn filters aan-

wezig om kleuren te bepalen. Zij lieten zien, dat de maanbodem *grijs* is.

Eerst werden beelden van 200 lijnen, later van 600 lijnen overgeseind. Er zijn duizenden foto's gemaakt. Het zonnepaneel dient als parasol voor de kamera. De horizon is slechts 1600 m ver weg. De gehele wereld was via de televisie en de kommunikatiesatellieten getuige van het ontvangen van de eerste maanfoto's en maakte de gang van zaken mee in het Amerikaanse volgstation in Californië bij deze eerste zachte landing!

De Surveyor landde in de krater Flamsteed, een zogenaamde spookkrater. Dit zijn vaak zeer onduidelijk zichtbare overblijfsels van wallen van grotendeels verdwenen ringbergen. Uit het weinige reliëf, dat ter plaatse nog aanwezig is en waarvan de schaduwen zich alleen maar bij zeer laagstaande zon manifesteren, kan men de omtrek van de voormalige, vaak zeer grote ringberg rekonstrueren. Uit de opnamen van de sterrenhemel, die alleen maar Sirius en Canopus laten zien, blijkt dat de as van de Surveyor 1,7° helt op de vertikaal ter plaatse in zuidoostelijke richting. Dat is blijkbaar de helling van de bodem van de maan op die plaats. De Surveyor kwam neer met een snelheid van 3 m/sek. en zakte 6,25 cm weg. Dat geeft als waarde voor het draagvermogen van de bodem daar 3,6 kg/cm^2, mits de grond homogeen is. Opnamen vanuit de Surveyor vertonen rijen rotsblokken, velden verstrooide rotsen en afzonderlijke stenen van 1 à 2 m (pl. XXII). Vlakbij zijn nog kleinere groeven en steenbrokjes zichtbaar. Opnamen met een telelens tonen in de verte de kam van een heuvelrug 20 km ten noordoosten van de Surveyor, terwijl de voet van die heuvel reeds onder de horizon ligt. De rotsen lijken meer op stollingsgesteenten dan op ingeslagen meteorieten.

Er zijn intussen nog meer resultaten van de Surveyor bekend geworden. Het toestel bevatte twee geïsoleerde elektronische kompartimenten A en B, die de buitentemperatuur bepaalden uit de verhouding van de uitgestraalde en de binnentredende energie. Er is gemeten tot 48 uur na zonsondergang (fig. 53). Het temperatuursverloop klopt goed met de aardse metingen en de warmtegeleiding van de bodem blijkt zeer gering te zijn (de coëfficiënt van de warmtegeleiding k = 0,00001 cal/cm sek. gram).

De landing van de tweede Surveyor op de maan mislukte,

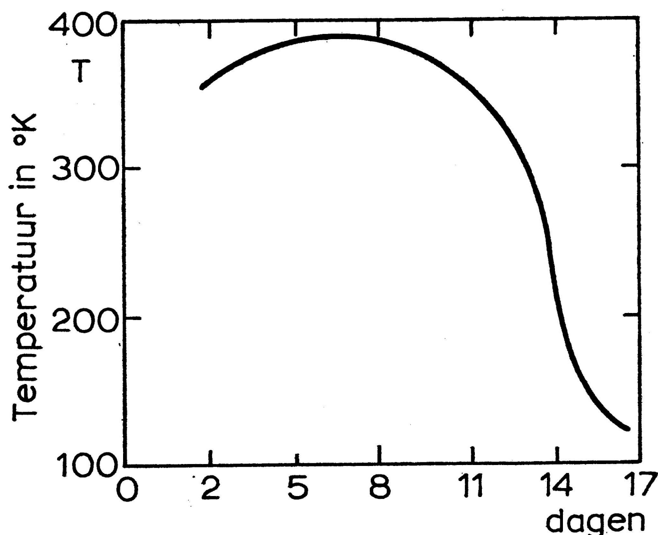


Fig. 53 Het temperatuursverloop op de maan gemeten door sensor B van de eerste Surveyor gedurende 15 dagen.

maar op 17 april 1967 vertrok de derde Surveyor vanaf Cape Kennedy, die met sukses op 20 april in de Oceaan der Stormen dicht bij de krater Landsberg landde. Na de eerste landing veerde het toestel 10 m omhoog om zes meter verder weer neer te komen. Nu veerde de Surveyor 3 m omhoog en kwam vervolgens $2\frac{1}{2}$ m van de tweede landingsplaats definitief tot rust. Door deze kapriolen werd de Surveyor niet beschadigd, daar hij van een verend landingsgestel was voorzien. Terstond werd begonnen met fotograferen van de omgeving, waarbij ook de indrukken van de eerste landingen tevoorschijn kwamen. Het ruimteschip was behalve van een kamera ook van een soort graafmachine voorzien. Een metalen klauw ter grootte van een pollepel aan het einde van een soort harmonikaschaar gemonteerd (pl. XIV) groef op de maan sleuven en greppeltjes met een diepte van maximaal 65 cm. De resultaten werden door de kamera waargenomen.

Het maanoppervlak bleek uit een poederachtig materiaal te bestaan, dat kon worden opgegraven en weer uitgestort. Op sommige plaatsen zitten er grotere brokken steen tussen.

Een volgende voorbereiding voor de maanreis is het *Orbiterprojekt.* Met het oog op de landing der astronauten moet men de

nodige geschikte landingsterreinen uitzoeken. Daartoe moet men een aantal maangebieden van geringe hoogte fotograferen. Dit aantal moet veel groter zijn dan de drie gebieden, die de Rangers verkenden. Daarvoor dient nu het projekt-Orbiter (Lunar Orbiter). De Orbiter 1 vertrok 10 augustus 1966 met een Atlas-Agena en kwam na drie dagen in de omgeving van de maan aan. Er werd een retroraket afgevuurd, die de Orbiter in een baan om de maan bracht. De snelheid moest immers zoveel worden afgeremd, dat de Orbiter niet de maan passeerde, en ook niet in een boog om de maan en naar de aarde terug vloog (zoals Loena 3). Het was een precair stukje werk, want remde men teveel af, dan zou de Orbiter op de maan zijn gestort, wat nu ook weer niet de bedoeling was. De baan om de maan lag tussen 190 en 1870 km hoogte en in 3^h38^m omcirkelde de satelliet de maan. De Orbiter was uitgerust met twee lenzen, een xenotar ($f = 80$ mm, f/5,6) en een Paxoramic ($f = 60$ cm, f/5,6), beide met sluitertijden 1/25, 1/50 en 1/100. Er werden geen televisiebeelden opgenomen, maar echte foto's gemaakt op een 60 m lange filmrol, die 7 cm breed was. Het filmmateriaal was van een soort, dat vrij ongevoelig was voor kosmische straling. Op de rol konden bijna 200 foto's van iedere lens. De Paxoramic had uiteraard het grootste oplossend vermogen.

Nadat de film ontwikkeld, gefixeerd en gedroogd was, werd hij door een heel fijne lichtbundel (5 μ) afgetast, die hem in 20 sekonden doorloopt. Lijn voor lijn wordt de film afgetast. De doorgelaten intensiteit wordt foto-elektrisch geregistreerd en omgezet in een stroompje; op deze wijze wordt de zwarting naar de aarde gezonden. De eerste lens gaf een betere reeks foto's dan verwacht werd, maar de telelens gaf een wazig beeld bij de eerste 40 proefopnamen.

Op 21 augustus 's morgens werd de retroraket 24 sekonden lang in werking gesteld, waardoor de baan veranderde en dichter bij de maan kwam, namelijk tussen 58 en 2280 km hoogte (omlooptijd 3^h20^m). Het was de bedoeling negen landingsplaatsen te verkennen in de buurt van de maanevenaar. Op 22 augustus begon het systematisch opnemen van de landingsterreinen. Van ieder gebied werden 32 plaatjes geschoten, 16 met iedere lens. Op 23 augustus om 16^h35^m bij het fotograferen van een der terreinen maakte de Orbiter een opname, waarop de aarde voorkwam. Het

volgstation Robledo de Chavela in Spanje ving die foto op. Zij toonde ook de aardbol, gezien van vlak boven de maan (pl. XXIII)! Per omwenteling konden slechts twee foto's naar de aarde worden gezonden, gedurende de meest gunstige positie van de Orbiter in haar baan ten opzichte van de aarde.

Uit de kleine wijzigingen in de baan van de maansatelliet in het zwaartekrachtveld van de maan volgt, dat de dichtheid niet gelijk verdeeld is in de maanbol. Er is een teveel aan materie in de richting van de noordpool van de maan. Zou de dichtheidsdistributie wel uniform zijn, dan zou dat verschil overeenkomen met een uitpuiling van ongeveer 400 m aan de noordpool en een even grote inzinking aan de zuidpool. Men verwacht dat de verandering van de baan uiteindelijk zal veroorzaken, dat de Orbiter op de maan te pletter zal slaan.

Inmiddels zijn er meer Orbiter-satellieten gelanceerd, die onze kennis van mogelijke toekomstige landingsplaatsen hebben uitgebreid. Een van de mooiste opnamen was ook die van de reusachtige ringberg Copernicus en de imposante bergwereld er omheen (pl. XXIII), gemaakt door de Orbiter 2. Met de opname van de aardbol van 23 augustus wedijvert zij voor de mooiste astronomische foto van 1966. Surveyor- en Orbiter-projekt samen vormen vrijwel de laatste voorbereidingen. De volgende stap zal een tocht van astronauten om de maan kunnen zijn, gevolgd door de definitieve landing. Het Apollo-projekt, dat wij reeds behandelden, is inmiddels begonnen, ja zelfs in volle gang. Staan de astronauten eenmaal op de maan, dan begint een nieuwe fase. Die behoort echter zonder twijfel tot het volgende decennium.

zeventiende hoofdstuk

de komende tien jaar

Wat doen wij op de maan – Exploratie van een nieuwe wereld – Geologisch onderzoek van de maan – Op zoek naar maanbevingen – Hoe is het maanoppervlak ontstaan – Tijdperken van de maangeschiedenis – De eerste tocht over de maan – Verblijfplaatsen voor maankolonisten – Het hitteprobleem – Voedsel en zuurstof – Wanneer gaan we naar Mars? – Het projekt-Voyager – Op zoek naar leven op Mars – Parachutelandingen op de rode planeet – Een kongres over de reis naar Mars – Schattingen die reuzenraketten eisen – Elektrische voortstuwingsmogelijkheden – Ionenmotoren – Het projekt-Sert – Is kernenergie niet bruikbaar? – De proeven met de Kiwi – Ook naar Jupiter – Nieuwe manieren om stroom te produceren – De Snap wordt beproefd – Antares en Aldebaran – De grenzen van het zonnestelsel wenken – Een reis naar de sterren vergt honderdduizenden jaren – Fotonenraketten een droom van de toekomst? – Gaan wij bevroren naar de sterren? – Fantasie en werkelijkheid.

In de herfst van 1967 zijn de eerste tien ruimtevaartjaren voorbij; een nieuw decennium gaat beginnen. Evenals voor de afgelopen tien jaar zijn ook voor dit nieuwe tijdvak allerlei plannen gemaakt. Sommige daarvan zijn serieus en gedetailleerd en zijn reeds gedeeltelijk in uitvoering. Andere zijn zelfs de tekentafels niet gepasseerd en zullen er misschien ook nooit opkomen. Het is niet onze bedoeling hier een uiteenzetting te geven van alles wat er aan meer of minder fantastische mogelijkheden is voorgesteld. Wij zullen ons beperken tot een aantal projekten en aanstippen wat voor mogelijkheden er zich misschien in de toekomst zullen voordoen.

Het is duidelijk, dat men zich ook nu reeds verdiept in de plannen, die na de geslaagde maanlanding aan de orde zullen komen. De maanlanding zelf bespraken wij reeds in hoofdstuk XV. Het is onmogelijk, dat de twee astronauten in de enkele uren, die zij op de maan kunnen doorbrengen veel kunnen onderzoeken. Zij moeten zich tot de onmiddellijke omgeving van hun landingsterrein beperken. Voor een doeltreffende exploratie van de maan-

bodem zijn bovendien instrumenten nodig en het is niet mogelijk om in de Lem nog een groot aantal zwaardere apparaten voor bodemonderzoek mee te nemen. Men stelt zich voor de maan geologisch op gelijke wijze te exploreren als de aarde bij het zoeken daar naar olie en ertsen. Er zal gezocht worden zowel naar vaste stoffen, vloeistoffen als naar gassen. Bij de vaste stoffen zal men de voorkomende gesteenten dienen te klassificeren. Zijn het sedimentaire, stollings-, metamorfe of meteoritische gesteenten? In die lagen gesteente zal men de eigenschappen van het materiaal nagaan, zoals dichtheid, porositeit, hardheid, elektrische weerstand, magnetiseerbaarheid, korrelgrootte, temperatuur en geluidssnelheid. Voor de vloeistoffen lijkt voorlopig alleen van belang het voorkomen van water, diep in de bodem, en het zoutgehalte daarvan. Bij de gassen zal men zich aanvankelijk beperken tot het zoeken naar zuurstof en stikstof.

Het onderzoek zal grotendeels moeten plaatsvinden door boringen en peilingen. Men kan beginnen met een gat te boren en met elektroden het weerstandsprofiel van de bodem bij het boren te bepalen. Door een neutronenbron in het boorgat neer te laten, kan men het aantal door het gesteente doorgelaten neutronen meten. Dat hangt samen met de temperatuur en de weerstand van het materiaal. Hierbij, zowel als bij de weerstandsmeting, heeft het zonlicht invloed. Het is van belang of de meting bij zonlicht of in de nacht plaatsvindt. Uit metingen van de gammastraling kan men de hoeveelheid en de dichtheid van uranium, thorium en kalium nagaan. Als de stralen inderdaad vulkanische as zijn, zullen de aureolen van de stralenkraters gebieden zijn, die rijk zijn aan kalium. Komen er fumarolen voor, dan zullen ze radioaktief zijn tengevolge van uraniumzouten. Het verloop van de dichtheid kan men verkrijgen door in plaats van een neutronenbron in het boorgat een bron van gammastraling te gebruiken. Zo krijgen we een fotonenkromme, waaruit de dichtheid valt af te leiden. Door telling van het aantal gammakwanten van verschillende energieën, dat door een stuk maanmaterie wordt doorgelaten, krijgt men een soort kernspektrum, waarin diverse elementen zijn te herkennen. Zo is silicium te ontdekken in alle rotssoorten, ijzer en magnesium alleen in enkele waarin het in grote hoeveelheden voorkomt en calcium in een groot aantal. Uit metingen met een magnetometer kan men het verloop van de

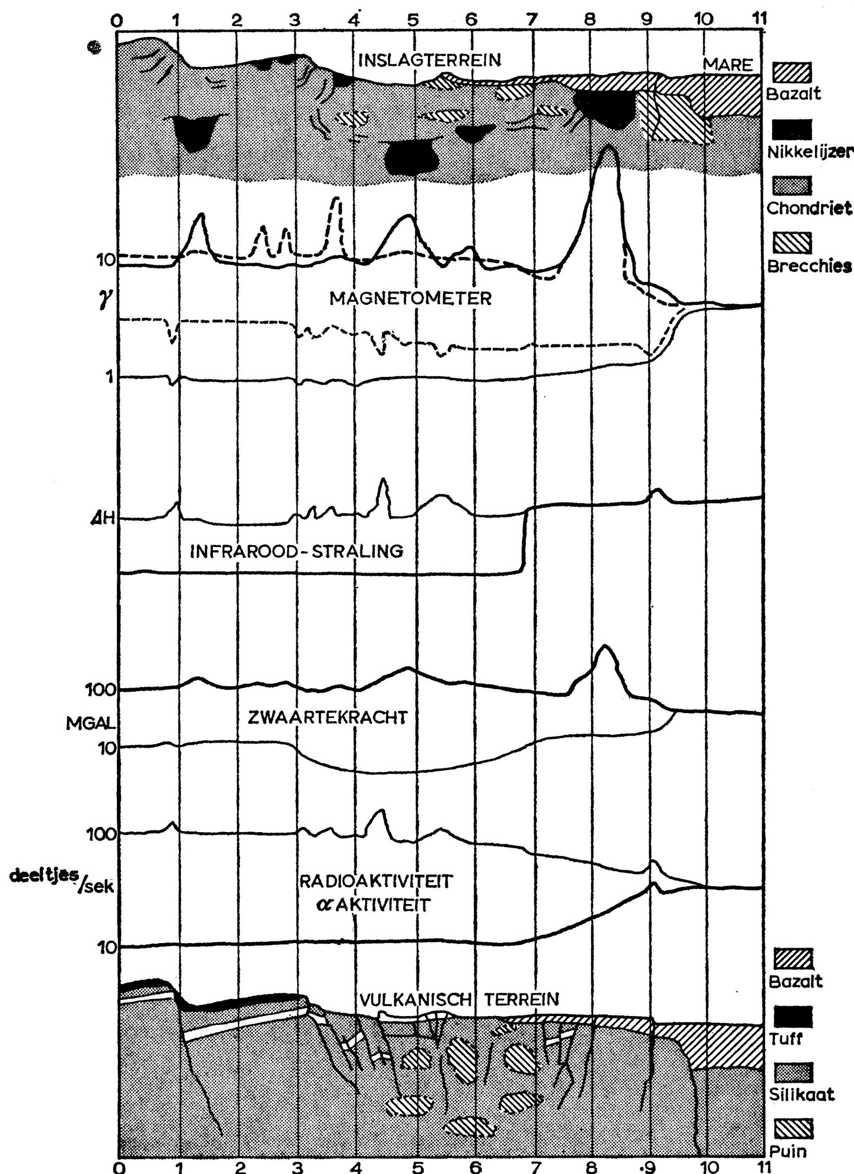


Fig. 54 Denkbeeldige selenofysische traverses door een met lava gevulde maankrater volgens Green. Men kan nagaan of het terrein door inslag is ontstaan (geval 1, boven) of door vulkanisme (geval 2, zoals in het onderste beeld). De magnetometer geeft in geval 1 de beide bovenste (dikker aangegeven) krommen, resp. op de grond (voluit) of op grotere hoogte (gestippeld), maar in geval 2 de daaronder getekende veel kleinere uitslagen. Een infrarood detektor daarentegen geeft in geval 1 meestal een kleinere uitslag ΔH, behalve op de Mare. De dunner getekende krommen slaan nu steeds op geval 2. Men ziet ook het verschil in zwaartekrachtmetingen en radioaktiviteit.

magnetiseerbaarheid nagaan. Grote brokken meteoorijzer zullen dan te vinden zijn, ook als ze diep onder de oppervlakte verscholen liggen. De magnetiseerbaarheid schijnt af te nemen met de korrelgrootte; ze kan vergeleken worden met metingen van Hatherington uit Nieuw-Zeeland.

Uit al dit soort metingen, gekombineerd met bepalingen van de warmtestroom uit de bodem in het infrarood en het verloop van de versnelling van de zwaartekracht (uit slingerproeven), kan men *selenofysische traverses* konstrueren (fig. 54). Uit een dergelijke traverse kan men afleiden of het maanoppervlak ter plaatse grotendeels vulkanisch terrein is of dat het door inslag is ontstaan. Zo'n uitgebreid geologisch onderzoek van bepaalde maangebieden zal ons een dieper inzicht geven in de wordingsgeschiedenis van de maanbodem.

Waarschijnlijk zijn de eerste kraters en vlakten ontstaan onmiddellijk na de vorming van de maan. Zoals de geologie het ontstaan van de aarde niet bestudeert, omdat dit gerekend wordt tot het terrein van de astronomie, zo zullen wij ook bij de geologie van de maan het ontstaan van de maan buiten beschouwing laten. Over de allereerste tijd weten wij even weinig als over het eerste tijdperk van de aardgeschiedenis. Men noemt dit het *archeoseleen*. De maankorst, die zich in dit tijdperk vormde, was opgebouwd uit vast rotsachtig materiaal, waarschijnlijk lang niet zo donker als de huidige maanbodem. Dit *lunariet* is in geërodeerde vorm nog te vinden in de uitgebreide hooglanden op het zuidelijk halfrond en aan de achterkant van de maan, maar het is in de loop der jaren donkerder geworden. Hoe lang de vorming van de maankorst duurde is niet bekend.

Op grond van een uitgebreide studie is men er in geslaagd reeds nu de geschiedenis van de vorming van de maanlandschappen te verdelen in een aantal selenologische tijdperken. Het eerste daarvan is dus het archeoseleen. Dit wordt gevolgd door het *proteroseleen*. Algemeen wordt dit verdeeld in *pre-imbrium* en *imbrium*. De eerste periode valt weer uiteen in twee epochen.

Zo ontstonden in de eerste epoche de oudste vlakten en bergen, zoals het zuidelijk bergland en de grotendeels verdwenen Mare Copernicum. De hooglanden zijn bedekt met lunariet, de vlakten met veel donkerder materiaal, dat wel *lunabase* wordt genoemd. In de Imbrische periode vormden zich vlakten, met

Mare Imbrium als middelpunt. De vorming ervan werd voorafgegaan door die van andere vlakten. De periode is in ieder geval in twee epochen te verdelen, de *Apenninische* en de *Archimedische.* Over de volgorde van beide is men het niet eens. De vorming van de Buienzee heeft een grote invloed gehad op grote delen van het voor ons zichtbare halfrond van de maan. Talrijke kraters verdwenen onder de lava en spookkraters ontstonden. De donkere lunabase overstroomde ze. Reusachtige klompen omhooggeworpen materie kwamen na de explosie in de omgeving van de vlakten neer. Zij vormden bergen en heuvels, die alle profielen vertonen in de richting van het explosiecentrum. Zo vormde zich de bekende Imbriumwaaier.

In het *mesoseleen,* de volgende era, ontstond Oceanus Procellarum. Uit sommige kratervormingen meent men te mogen konkluderen, dat er in die tijd een nog zeer ijle maanatmosfeer bestond. De laatste twee à vier miljoen jaar worden gevormd door de laatste era van de maangeschiedenis: het *teleoseleen.* Het wordt onderverdeeld in *Eratosthenium* en *Copernicum.* In de eerste periode ontstonden stralenkraters, waarvan de stralen verdwenen zijn, maar waarvan de secondaire kratertjes nog bestaan, al zijn ze intussen door erosie vervlakt. In de laatste periode ontstonden Copernicus en Tycho en alle nu nog door stralen omzoomde ringbergen. De laatste restanten van de maanatmosfeer verdwenen en dit leidde tot de vorming van het huidige donkere oppervlak. In de stollende lavazee vormden zich heuvelruggen en rillen.

Zowel de Amerikaanse geologische dienst in Washington als het onderzoekingscentrum van de Amerikaanse luchtmacht heeft in de afgelopen vijf jaar getracht allerlei objekten op de maan in de zojuist beschreven tijdschaal in te delen. Kaarten werden uitgegeven met de geologische indeling; deze worden nog steeds verbeterd. Met de geslaagde landing zal de geologie van de maan in het uitvoerende stadium komen. Dan zal blijken of onze aardse indeling steek houdt. Dan zal men naarstig zoeken naar een definitief antwoord op de vraag naar het ontstaan van de grote ringbergen. Zijn het inslagkraters of is het een vulkanisme op veel groter schaal dan wij bij onze maaren kennen? Als dit laatste het geval is, is de ondergrond dan ook te vergelijken met de kimberliet-pijpen uit de bodem van Zuid-Afrika? In dat geval

vragen wij ons af, of er in de maanbodem ook diamanten schuilen van ongekend groot formaat.

Hazard, een ingenieur van Space General Corporation, verbonden aan deze afdeling van Aerojet-General in Californië, ontwierp reeds de nodige plannen voor een langere verkenning van de maanbodem. Hij stelt zich voor een groep van twaalf astronauten met vier reuzenraketten naar de maan over te brengen. Hij hoopt, dat de Nova-raket spoedig daarvoor gebruikt zal kunnen worden. Drie raketten moeten de expeditieleden naar de maan brengen en één de 15 ton benodigde voorraden, die daar ter plaatse blijven. Deze bestaan uit instrumenten en levensbenodigdheden voor een verblijf van eenentwintig dagen buiten de aarde. Van de twaalf astronauten blijven er acht in het basiskamp op de maan, terwijl de andere vier een tocht van 800 km over de maan gaan maken in tien dagen. Ze rijden in zogenaamde *maanmobielen*, een soort traktoren, die met een snelheid van 8 km/h over het hobbelige maanoppervlak voortkruipen. Een eerste dergelijke maanmobiel is intussen reeds gebouwd (pl. XVII) en andere modellen zijn ontworpen. Het best zal zijn deze tocht te maken tijdens de lange maannacht van 330 uur. De vier astronauten, een geoloog, een fysicus, een medicus en een technicus, zullen in ruimtepakken gekleed zijn (pl. XIX). De verkenners lopen echter weinig, meestal rijden ze, hangend aan weerskanten van hun maanmobielen, tijdens hun vermoeiende tocht. Zelfs slapen zij in hun ruimtepakken, horizontaal liggend op ingebouwde hoofdkussens.

Misschien kan zo in de periode 1970–1975 de vestiging van een maanbasis worden verwacht. Die basis zal geleidelijk aan moeten groeien en alle gewenste faciliteiten moeten bieden voor een verblijf op de maan (pl. XXIV). Voor korte tijd, b.v. voor astronauten die met een Lem ergens landen, kan men volstaan met een transportabele schuilhut, zoals reeds door de Garrett Corporation is ontworpen. Deze moet dan ergens op de maan, voor de Lem daar landt, zijn gedeponeerd door een apart vrachtruimteschip. Zo'n verblijfplaats kan bij maanexploratie tijdelijk dienst doen. In de schuilhut zullen de astronauten hun ruimtepakken moeten blijven dragen. Later kan een verblijf in grotere uitvoering worden gebouwd, waar men veel komfortabeler bivakkeert en laboratorium- en research-werkzaamheden kan verrichten.

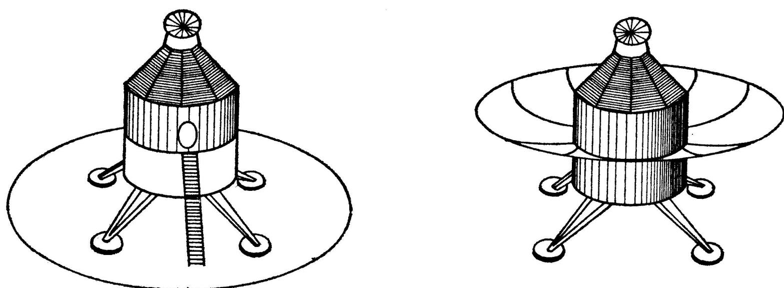


Fig. 55 Een groot uitstralend oppervlak op of om een toekomstige schuilhut op de maan moet de temperatuur daar matigen tijdens de zeer hete, 14 aardse dagen durende, dag.

Een groot probleem ondervindt men tengevolge van de hoge temperaturen gedurende de 330 uur lange dag op de maan en de lage waarden in de even lange maannacht. Overdag zal men de verblijfplaats moeten afkoelen. Gedurende een korte maanreis kan dat bijvoorbeeld door water te gebruiken dat men laat koken. De verdampingswarmte wordt dan aan de verblijfplaats onttrokken. Men zou ook materiaal van de maan kunnen gebruiken om de schuilhut af te dekken. Het lage warmtegeleidingsvermogen van dit materiaal komt dan goed van pas. Door een groot uitstralend oppervlak op of om de schuilhut te bouwen (fig. 55) kan men de temperatuur ook aanmerkelijk verlagen. Zo'n reflekterende mat met een zevenmaal grotere straal als die van de schuilhut blokkeert 90 procent van de straling van het omliggende maanoppervlak.

Zuurstof en water zullen aanvankelijk van de aarde moeten worden aangevoerd. Latere, uitgebreidere maanexpedities zullen systemen gebruiken, die hun zuurstof en water weer opnieuw produceren uit de afvalstoffen van ademhaling en stofwisseling. Materialen van de maan kunnen gebruikt worden om de verliezen aan te vullen. Vulkanische rotsen bevatten gemiddeld 1 procent water, soms zelfs 10 procent. Kernenergie en zonnecellen kunnen gebruikt worden voor de stroomvoorziening. Voedsel zal van de aarde moeten worden aangevoerd. Het kweken van planten in kassen zal pas in de zeer verre toekomst te verwezenlijken zijn; pas als een voldoende grote basis tot stand is gekomen, zal men daarover kunnen gaan denken. Onnodig te zeggen, dat voor astronomische waarnemingen zo'n maanbasis een ideaal oord zal zijn.

Een deel van het bodemonderzoek zal reeds op enkele plaatsen worden voorbereid door Loena's en Surveyors. Reeds de eerste Rangers bevatten seismometers, die men op de maan wilde laten landen. Zij zijn alle mislukt en hebben hun doel niet bereikt. In Californië worden seismometers ontwikkeld om maanbevingen te kunnen ontdekken. Deze zullen ons gegevens leveren over de inwendige bouw van de maan. Wij vermoeden niet, dat de maan, zoals de aarde, een kern bezit, maar wij willen hier meer zekerheid over hebben. Ook de val van grote meteorieten kan seismische trillingen veroorzaken, die ons kunnen inlichten over aard en snelheid der inslaande massa's.

Al ziet het er naar uit, dat de verkenning van de maan heel wat merkwaardige ontdekkingen zal opleveren, fossielen of levende wezens verwacht men er niet te vinden. Betere mogelijkheden in dit opzicht biedt de planeet Mars. Door de lange synodische omlooptijd zijn de mogelijkheden om met de ons ter beschikking staande raketten Mars te bereiken zeer beperkt. Geschikte tijden doen zich voor in 1967, 1969, 1971, 1973 enz. Het was de bedoeling om in 1969 weer een poging te wagen Mars te bereiken en daar een kapsule van 500 kg te laten landen om de eventuele vegetatie en aanwezige mikro-organismen te onderzoeken. Dit wordt het *projekt-Voyager* genoemd. Het plan is voorlopig uitgesteld tot 1973. Dan zal men trachten met een Saturnus 5 twee Voyagers tegelijk naar Mars te zenden. Deze moeten dan in een baan om de planeet worden gebracht en ook kapsules neerlaten op het oppervlak van de planeet. Vishniac ontwierp een vernuftig instrument, dat de 'wolfskuil' wordt genoemd. Dit wordt ondergebracht in een lichte, cilindervormige metalen kapsule, die aan een valscherm op Mars daalt. De eigenlijke wolfskuil bestaat uit een lange dunne buis met een zeer breekbaar uiteinde, die dwars door de bodem van de kapsule benedenwaarts tot op de bodem van Mars reikt. Bij het neerkomen moet het uiteinde van de buis breken; de luchtdruk op Mars blaast lucht en stof in de ledige ruimte, die in de ten dele met voedingsstoffen gevulde kamer komen, waar eventuele mikro-organismen zich kunnen ontwikkelen. De resultaten maken zich kenbaar door bepaalde veranderingen in de voedingsbodem, die per radio naar de aarde worden doorgeseind. Ook zou men af en toe kunnen fotograferen. Er zijn ook plannen om een apparaat neer te laten, voorzien van

een enorm lange kleverige roltong. Deze strekt zich op kommando vanaf de aarde uit en alles wat zij op haar weg ontmoet, hecht zich er aan vast. Daarna wordt de grote 'vliegenvanger' met haar oogst weer in de kapsule getrokken, waar de vangst wordt onderzocht.

Nu het projekt-Voyager voorlopig is uitgesteld, hoopt men nog in 1969 nieuwe Mariners naar Mars te zenden. Deze verbeterde modellen van de Mariner 4 kan men lanceren met Altas-Centaur-raketten.

Proeven met parachutelandingen op Mars kan men niet direkt ter plaatse nemen, maar wel zijn reeds experimenten gedaan in omstandigheden, gelijkend op die op Mars. Uit de metingen met de Mariner weet men, dat de luchtdruk omstreeks 10 mbar bedraagt. Deze wordt op aarde op ca 40 km hoogte bereikt. Op White Sands Proving Grounds (tegenwoordig White Sand Missile Range genoemd) in New Mexico zijn zes ballonraketvluchten en twee andere raketproeven uitgevoerd. Iedere ballon droeg een namaak ruimteschip aan een parachute. Op de vereiste hoogte bracht een verzameling van twaalf gebundelde raketjes het ruimteschip naar een 5 km grotere hoogte en versnelde het tot 12,5 km/h. Dat is de snelheid van een ruimteschip, als de parachute opengaat in de atmosfeer van Mars. De Marsparachute zal moeten opengaan tussen 6 en 1,5 km boven het planeetoppervlak. De kabine komt dan toch nog tamelijk ruw naar beneden, namelijk net als bij een vrije val van 30 m hoogte op aarde. Met speciale uitgekozen materialen zal men de val moeten breken.

Zal men een mens naar Mars kunnen sturen en hem ook weer veilig kunnen terugbrengen op aarde? Wanneer zullen we dat beleven? Reeds in 1963 vond in Denver in Colorado een kongres plaats van 800 ingenieurs en geleerden dat zich hiermee bezighield. Schattingen over de enorme kosten van dit projekt lopen uiteen van 20 miljard tot 100 miljard dollar. Men verwacht ook hier, dat de Nova grote perspektieven zal openen. Het aantal ontwerpen ervoor is al beperkt tot zes. Men verwacht, dat één ruimteschip niet voldoende zal zijn voor deze reis. Eerst zullen de astronauten enkele maanden om de aarde cirkelen en een konvooi van vier ruimteschepen aan elkaar koppelen, waarvan twee onbemand zullen zijn. De voedselvoorziening van de bemanning

is een groot probleem. Men schat, dat voor een bemanning van vijf koppen voor een reis van 420 dagen 1350 kg voedsel nodig is, zelfs als men dit zoveel mogelijk indroogt en zo ekonomisch mogelijk indeelt. Het verlies aan zuurstof en andere gassen uit de kabine, dat 300 cm^3 per dag kan bedragen, is ook een moeilijk vraagstuk. Men schat, dat er 90 kg verloren zal gaan. De totale benodigde lading wordt op meer dan 5000 kg bij de start getaxeerd (1350 kg voedsel, 1100 kg zuurstof, 2600 kg water en 100 kg stikstof). Voordat men hiertoe zal overgaan zal het echter gewenst zijn, nog heel wat meer gegevens te verzamelen over de toestand op de planeet Mars.

Daarnaast zal men moeten trachten nieuwe mogelijkheden te zoeken voor het voortstuwen van raketten. Een van die mogelijkheden is de elektrische voortstuwing. Op dit gebied ziet men drie methoden: 1. de elektrothermische, bestaande uit elektrische verhitting van een brandstof, die expandeert via een uitlaat, 2. de elektrostatische, waarbij men ionen versnelt door middel van elektrische velden, en 3. de elektromagnetische, waarbij men ionen versnelt door middel van zowel elektrische als magnetische velden. De eerste methode is het eenvoudigst. Door een elektrisch tot 3000°K verhitte buis kan men gas laten stromen naar de uitlaat. Zo bereikt men snelheden tot 9000 m/sek. Zo'n apparaat, dat *resistojet* wordt genoemd, wordt echter zeer zwaar. Ook kan men een stroom door de brandstof heen voeren, waardoor nog veel hogere temperaturen ontstaan. Zo bereikte men in het laboratorium een stuwkracht van 200 g met een 30 kW motor, die gedurende vele uren liep. Er is een ontwerp vervaardigd voor een ruimteschip met 16 m lange zonnepanelen met een oppervlak van 465 m^2, geheel bezet met zonnecellen. Deze zouden voldoende stroom leveren voor een bundel kleine ionenraketmotoren, waarmee men Mars in 300 dagen zou kunnen bereiken. Het schip moet ongeveer 4 m lang zijn en worden gelanceerd met een Saturnus- of Atlas-raket. Langs de 4 m lange zonnepanelen zouden weer 52 aparte vleugels zitten, die op elkaar gevouwen zijn bij het lanceren. Deze reusachtige, insektachtige kapsule zou instrumenten naar Mars kunnen brengen.

Elektrostatische en elektromagnetische methoden zijn volkomen anders dan onze huidige systemen. Men maakt een damp van een gemakkelijk te ioniseren materiaal, bijvoorbeeld

cesium, en laat dat stromen door een heet, poreus blok tungsten, waardoor de meeste atomen een elektron verliezen en geïoniseerd worden. Dan versnelt men de ionen door middel van hoge spanningen via roosters van elektroden. De uittredende bundel is een geladen wolk, die de na haar uittredende ionen vertraagt (pl. XVII). Daarom voegt men elektronen toe aan de naar buiten komende ionenstroom om die te neutraliseren. Zo zou men snelheden tot 100000 m/sek. kunnen bereiken. De stuwkracht is echter zeer gering (minder dan 30 g). Het grote probleem is de grote hoeveelheid benodigde elektrische energie.

Misschien kan het nog beter langs elektromagnetische weg, maar dat is alleen nog maar theoretisch onderzocht. Men stelt zich voor door middel van elektroden een stroom van geïoniseerd gas te verkrijgen en dan een magneetveld aan te brengen loodrecht op die stroom. Dat versnelt vooral de elektronen, die dan hun moment moeten overdragen aan de rest van het gas. Ook dit zou wel weer een zeer zware motor worden.

Op 20 juli 1964 werd een proefvlucht gemaakt van Wallops Eiland om te zien of de elektrostatische ionenmotor effektief zou werken. *Sert* 1 (Space Electric Research Test) heette dit projekt. Het ging er hoofdzakelijk om, te zien of de neutralisatie van de ionenstroom door elektronen zou voldoen. De motor was op de laatste trap van een Scout-raket gemonteerd; hij werd op 408 km hoogte ingeschakeld en werkte dwars op de bewegingsrichting van de kunstmaan. Deze werd in rotatie gebracht. Daaruit berekende men het bereikte resultaat. De motor werkte 19 minuten, waarvan 9 op volle kapaciteit. Het gedeelte dat op cesium-ionen moest werken weigerde door kortsluiting, maar de kwikmotor werkte wel. Een stroom van 0,275 Å gaf een stuwkracht van 2,9 g en een uitstroomsnelheid van 48000 m/sek.

Men zou ook aan kernenergie kunnen denken. Deze zal zeker niet voor 1975 beschikbaar zijn voor voortstuwing van raketten. In 1959 vond reeds het *projekt-Kiwi A* plaats, genoemd naar een vogel uit Nieuw-Zeeland met gedegenereerde vleugels, die daardoor niet kan vliegen. In 1960 volgden nog twee grondproeven met een verbeterd systeem. Het Kiwi B-projekt, dat nu aan de gang is, werd in 1961 en 1962 driemaal op de grond geprobeerd. Dit omvat een motor, waarbij vloeibare waterstof in een kernreaktor stroomt, daar zeer heet wordt en dan met grote snelheid

ontsnapt. Zowel bij Kiwi A als bij Kiwi B ontstonden na enige tijd storingen in de kernreaktor. Trillingen binnen in de motor schokten bepaalde onderdelen los. Deze kwamen dan als witgloeiende brokken metaal in de gasstroom naar buiten. Technische gegevens werden nog niet bekend gemaakt. Een *Nerva*-proefmodel liep op 5 maart 1966 gedurende 21 minuten. Reeds op 3 februari was zij al eens geprobeerd in de woestijn van Nevada. Toen steeg er een vlam van 90 m op. Het grootste bezwaar van de kernenergie ligt in de zware apparatuur, die er voor nodig is.

Voor verre reizen zal de Nova eerst uit de Saturnus moeten worden ontwikkeld. Deze raket zal ongetwijfeld het hoogtepunt en misschien ook wel het besluit zijn van de raketten met chemische brandstoffen. Met onze huidige hulpmiddelen kan men de mogelijkheden beperken tot de verkenning van Jupiter en Mercurius. Een ruimteschip naar Mercurius moet, evenals een verkenner naar de direkte ongeving van de zon, tegen de intensieve straling door hitteschilden worden beschermd. Voor een zonnesonde van 23 kg berekende men als startmassa 113 ton. Een reis naar Jupiter en Saturnus stelt weer geheel andere eisen. Aan een Jupiter-projekt wordt op het ogenblik serieus gewerkt. Dit geschiedt in samenwerking tussen Duitsland en Amerika. De reisduur bedraagt meer dan 2,5 jaar en de radioseinen zullen 33 minuten over de tocht doen. De enorme afstand (bijna 600 miljoen km) verzwakt de signalen zozeer, dat de kapsule voorzien moet worden van sterke zenders. Dit betekent een extra probleem voor de ontwerpers, want met zonnecellen bereikt men hier niet voldoende. Jupiter ontvangt nog slechts een vijftiende deel van de zonnestraling die de aarde per cm^2 bereikt, en daarom zal men de satelliet óf van een enorm aantal zonnecellen moeten voorzien óf naar andere mogelijkheden voor de energievoorziening moeten uitzien.

Behalve aan de brandstofcellen, die wij reeds eerder bespraken, werken de Verenigde Staten ook aan het *projekt-Snap* (System for Nuclear Auxiliary Power). In januari 1959 produceerde de eerste komplete reaktor, de Snap 3, reeds 2,5 watt elektrische energie uit polonium 210-atomen. Een kleine atoomreaktor benut dit splijtbare materiaal, dat grote hoeveelheden warmte produceert. Deze warmte wordt gebruikt om via enige tussentrappen

een turbine aan te drijven, die een generator in beweging brengt, die op zijn beurt weer elektrische stroom levert. Twee van deze stroombronnen werden reeds met sukses toegepast in de Transit 4 A en B. Snap 10 A, gereed gemaakt voor proefvluchten in 1964, werd op 4 april 1965 omhooggebracht. Hierbij wordt de warmte van de reaktor gebruikt om via het thermo-elektrisch effekt stroom te leveren. Van een circuit bestaande uit verschillende metalen worden de kontaktpunten op verschillende temperaturen gehouden. Het ene einde van iedere cel wordt verhit via door de warmte van de kernreakties gesmolten metaal, het andere eind wordt in de ruimte afgekoeld. Dit systeem kan 500 watt produceren.

Snap 10 A liep op 1300 km hoogte. De reaktor had een gewicht van 112 kg; de stroom dreef tevens een kleine ionenmotor aan. Na enkele weken goed te hebben gewerkt staakte Snap 10 A echter zijn aktiviteit.

Behalve het projekt-Nova zijn er ontwerpen voor de superraketten *Antares* en *Aldebaran*. De laatste moet even groot zijn als de oceaanreus Queen Mary. Het gewicht wordt op 50000 ton geschat en de lengte op een paar honderd m. De reus zou horizontaal moeten starten en de enig mogelijke startbaan is dan de oppervlakte van de zee. De eerste trap zou weer moeten terugkeren en op de oceaan landen. De tweede trap zou evengoed nog 10000 ton zwaar kunnen zijn (vier maal de Saturnus 5).

Reizen naar de grenzen van ons zonnestelsel, naar werelden als Uranus, Neptunus en Pluto, liggen nog ver buiten het verschiet van onze huidige mogelijkheden. Reizen naar de planeten in de omgeving van andere sterren vormen een probleem van een andere orde.

Een moderne raket zou wel een half miljoen jaar nodig hebben om de dichtstbijzijnde sterren te bereiken. Hun afstanden worden gemeten in lichtjaren, d.w.z. dat het licht met zijn fabelachtige snelheid van 300000 km/sek. nog jaren nodig heeft voor die afstanden. Wil men de mogelijkheden gaan overwegen om in de toekomst één mensenleeftijd een verkenner naar de dichtstbijgelegen ster te zenden, dan zal men moeten beginnen met te zoeken naar mogelijkheden om grotere snelheden te bereiken.

Volgens onze huidige opvatting bestaat het licht uit fotonen; de uit een lichtbron tevoorschijn tredende bundel fotonen ver-

oorzaakt een stuwkracht, net als een gasstroom. De lichtdruk van de zon veroorzaakt de staarten der kometen en buigt ze af van de zon. Zij werkt op het kosmische stof in de interplanetaire ruimte. Een zoeklichtbundel veroorzaakt echter slechts een stuwkracht van ongeveer 0,0001 g. In 1963 wist men in het laboratorium een laserstraal te verkrijgen, die 10000 maal zo sterk was als natuurlijk zonlicht. Deze lichtstraal was uiterst dun. Zou men haar kunnen verbreden tot 1 cm^2 doorsnede dan zou men reeds voldoende stuwkracht hebben voor een ruimteschip. Sänger, die met zijn medewerkers hieraan werkte, zag in deze richting ongekende mogelijkheden. Hij beschrijft een ruimteschip van 100000 ton, dat door fotonen wordt voortgestuwd. Na 13 dagen verlaat het ons zonnestelsel en reist naar een 100 lichtjaren ver afgelegen planeet, diep in het heelal bij een andere ster. Door de zeer grote snelheid zal de tijd aan boord van het schip langzamer verlopen dan op aarde; de reis zal dan nog maar 34 jaar duren voor de bemanning. Intussen zijn op aarde 210 jaar verlopen als zij terugkomen. Zij vinden hier een andere wereld terug!

Nog andere plannen opperden Russische geleerden. Door een mens in bevroren toestand te brengen zou men zijn leven tot 700000 jaar kunnen rekken. Op die manier zou men met fotonenraketten andere melkwegstelsels kunnen bezoeken. Bovendien zijn bij zo'n reis in bevroren toestand veel minder voedsel en zuurstof nodig. Een computer zou de reizigers op het juiste moment uit hun winterslaap moeten wekken. Als zij ooit terugkeren is de aarde misschien verdwenen.

Wij zullen ons niet langer bezighouden met al dit soort fantastische projekten. Een Jules Verne van onze eeuw met een juiste vooruitziende blik zou op dit gebied heel wat verhalen kunnen samenstellen. Jaar op jaar worden miljarden dollars uitgegeven voor de verkenning van de kosmische ruimte. De wetenschappelijke resultaten van al deze met dit geld uitgevoerde experimenten stromen dagelijks in steeds grotere aantallen onze laboratoria binnen. Wegen ze op tegen die miljarden dollars?

Het is niet de bedoeling geweest de lezer door dit boek daarvan te overtuigen. Wij hebben de financiële aspekten zo weinig mogelijk aangeroerd. Daarom lijkt het ons goed de mening te geven van de direkteur van Goddard Space Flight Center in Maryland, Dr. H. J. Goett, die zegt: 'De wetenschappelijke resultaten van

de ruimtevaart kunnen het best worden vergeleken met het goud en de kostbare specerijen, die het doel waren van de ontdekkingstochten der zeevaarders in de zestiende en zeventiende eeuw. Het Amerikaanse budget voor de ruimtevaart kan dan worden vergeleken met de juwelen van de Spaanse koningin Isabella, waarmee de reis van Columbus naar Amerika werd gefinancierd'.

literatuurlijst

Het aantal boeken in de Nederlandse taal op het gebied van het ruimteonderzoek en daarmee verwante onderwerpen is zeer beperkt. Bovendien zijn vele intussen sterk verouderd. Wij beperken ons tot een persoonlijke keus:

G. VAN WAGENINGEN, *De mens verlaat de aarde,* Meulenhoff.

DR. W. DE GRAAF, *Ruimteonderzoek,* Van Goor.

Met betrekkelijk eenvoudige wiskundige kennis zijn in de Engelse taal leesbaar:

M. VERTREGT, *Principles of Astronautics,* 2e ed., Elsevier.

H. MASSEY, *Space Physics,* Cambridge.

D. KING-HELE, *Satellites and Scientific Research,* Dover.

D. KING-HELE, *Observing Earth Satellites,* St. Martin's Press.

C. A. LUNDQUIST, *Space Science,* McGraw Hill.

W. LEY, *Mariner 4 to Mars,* Signet Science Library.

Jet Propulsion Laboratory, *Mariner Mission to Venus,* McGraw Hill.

Men blijft geregeld van nieuwe lanceringen op de hoogte door lid te worden van de Nederlandse Vereniging voor Ruimtevaart (secretariaat: Kerklaan 132, Rijswijk Z.H.). Deze geeft het tijdschrift '*Ruimtevaart*' uit.

De meer astronomische en meteorologische aspecten komen eveneens en meer uitgebreid aan de orde in het orgaan '*Hemel en Dampkring*', maandelijks uitgegeven door de Nederlandse Vereniging voor Weer- en Sterrekunde, secretariaat: Zeiss Planetarium, Den Haag. Boeken op dit terrein zijn:

J. VAN DIGGELEN, *Wegwijzer in de Kosmos,* Ruys.

A. J. M. WANDERS, *Sterrenkunde,* Noordhoff.

O. STRUVE, *Astronomie* (Engelse of Duitse editie).

J. VAN DIGGELEN, *Buurland Maan,* Ruys.

TJ. DE VRIES, *De Mens in het Uitdijend Heelal,* Het Spectrum.

register

A *1* 133
Aap, Enos 141
 – Ham 139
Aardbol
 Foto's van de – 115
 Foto van 27 000 km afstand van de – 165
 – gezien van vlak boven de maan 247
Aarde, albedo van de 118
 Foto's van de – 119
 Magnetisch veld van de – 61, 62
 Plaatsbepaling op – 101
 Straal en vorm van de – 111
Able Star 102
Absorptie, selektieve 34
Advanced Orbiting Solar Observatory 173
Advanced Research Projects Agency 90
Aerobee-raket 175
Aeronautical Chart and Information Center 235
Agena-raket 95, 147, 151, 152
Albedo 71
Aldin 156
Allen, Van 60, 162
 -gordels 63, 149, 162, 167, 169, 173
  Verdeling van de protonen in de – 66
Alma Ata 68
Alouette 124
Alphonsus 233, 240
Amerikaanse kunstmaan, lanceren van de eerste 59
Andover 112
Anna *1A*, *1B* 106
Annulus 72
Anomalie, Zuid-Atlantische geomagnetische 149
Antoniadi 199, 201
Apenninische epoche 252
Aphelium 26
Apogeum 29
Apollo 221, 225
 -brand 156
APT-systeem 120, 123
Arago 239
Archeoseleen 251
Archimedische epoche 252
Arecibo 229
Ariël 172
 – *1*, *2* en *3* 131
Arizonakrater 236
Arlandes, markies d' – 3
Armstrong 152
Aswenteling 182
Atlas-raket 140, 257
Atlas-Agena 96, 116
 -*B* 191, 237
 -Centaur 243
 -*D* 220
Atmosfeer, beeld van de 108
 Dichtheidsvariatie met de hoogte 51
 Druk van de – 212
 Samenstelling van de hoge – 129
 Uitpuiling van de – aan de evenaar 55
 Verloop van de temperatuur met de hoogte 32
ATS-*1* 115
 -*2* 116
AVCS 122
Avondster 181

Baai van de Astronauten 77
Baby-stralenstelsels 72
Baikonoer 57, 138, 145
Baker-Nunn-kamera's 111, 228, 229
Baldwin 237
Ballonnen 160
Banen, soorten 25
Batterijen 149
Beer 233
 – en Mädler 199
Belka 56
Bell-raket 92
Belyayev 146
Bénard-cellen 119
Bevroren toestand, mens in 261
Binnenplaneet 181
Biologische preparaten 95
Biosatelliet 98
'Blokhuis' 213
Blue Streak 132
Boeing Aircraft Company 225
Bolide 36
Boringen 249

Borman 151
Boyden Observatory 113
Brandstofcellen 149
Brandstoffen, vaste 13
Vloeibare – 14
Braun, Von 4, 59, 147
Brecciën 236
Brekingsindex 123
'Broeikasmodel' 186
Broglie, De 159
Bruno, Giordano 77

Canopus 207
Cape Canaveral 141
– Kennedy 214
Carpenter 142
Cassini 181
Cavalerius 80
Centraalbergen 72
Cernan 152
Chauffee 156
Chavela, Robledo de 247
Chimpansees 139
Chroesjtsjev 138
Chromosfeer 41, 171
Cislunaire ruimte 163
Collins 154
Colomb-Bechar 134
Columbus 2, 262
Comsat 114
Conrad 155
Conrad Jr 149
Cooper 143, 149
Copernicum 252
Copernicus 72, 239, 242, 247, 252
Coralie 132
Corona 41, 171, 172
Geo- 174
-kondensaties 171
Coronie 135
COSPAR 53, 130
Courier *1B* 107
Coxwell 3
Curaçao 135
Curie, Joliot 76
Cyclonen 119
Cygnus *X* 175

Daidalos 2
Dampkring, elektronendichtheid in de 125, 127, 212
Grens van de aardse – 40
Stoflaag in de – 154
Deep Space Network 229
Delta-raket 108, 112, 128, 172
Diadème *1* en *2* 133
Diamanten 253
Diameter en diepte, relatie tussen 237
Diamond-raket 133
Diapason 133
Dichtheid van de atmosfeer berekenen 50
Dichtheid in de atmosfeer, variaties van de 109
Dichtheidsverdeling van interplanetair stof 177
Dietz 236
Discoverer *1* 91
– *5* 93
– *13* 94
– *14* en *17* 95
-kapsule, terugkeer van een 93
Discoverers 139, 216
Dissociatie van de zuurstofmolekulen 38
Dollfus 182, 185, 205
Dopplereffekt 102, 183
Dornberger 4
Downs 115
Draaisnelheid van een planeet 197
Drift 134
Drukbal 143
Dualistisch karakter van materie en straling 159

E-laag 124
Early Bird 113
Echo *2* 109
Effektieve uitstroomsnelheid van gassen 217
EGRS *3* 98
Eisenhower 87
ELDO 131
Elektron *1* en *2* 130, 173
Elektronen 36, 159
Elongatie 181
Enteren 155
Eratosthenium 252
Esrange 132
ESRO 131
ESSA *1* 123
Europa *1* 132
Evenaar, vorm van de 111
Exosfeer 39
Temperatuur van de – 109
Exploratie van de maanbodem 248
Explorer *1*, *2* en *3* 60
– *4* 60, 65
– *6* 163
– *8* 127
– *10* 165
– *11* 169
– *12* 166

Explorer *13* 177
- *14* 166
- *15* 64, 65
- *16* 177, 178
- *18* 166
- *20* 127
- *22* 127
- *23* 169
- *29* 110
- *32* 128
Explosiekegels 236
Explosiekraters 236
Extinktie 35, 154

F 1-laag 124, 189
F 2-laag 124
F 1-motoren 222
Fading 134
Fade-out 43
Feoktistov 145
Ficino 115
Filamenten 42
Financiële aspekten van ruimtevaart 261
Flamsteed 243
Flitslichten 106
Satellieten met – 110
Flux, magnetische 193
Metingen van de meteoroïd- 178
– zonnewind 166
Fotodissociatie 38
Fotografisch waarnemen 228
Fotografische atlas van Kuiper 235
Fotometrie 82
Fotometrisch gedrag van gesteenten 83
Fotonen 159
Fotonenkromme 249
Fotonenraket 261
Fotosfeer 41
Frekwentie van de zender konstant houden 104
Frekwentieverandering van het radiosignaal van een satelliet 103
Friedman 38, 171, 174
Fumarolen 249

Gaatjeskamera 171
Gagarin 138
Galilei 2, 181
Gammakijker 169
Garret Corporation 253
Gegenschein 153
Geigertellers 60, 161, 193
Gemini *3* en *4* 148
- *5* 149
- *6* en *7* 151
- *8* en *9* 152
Gemini *10* 154
- *11* 155
- *12* 156
-kapsule 147
Geminiden 180
Geocorona 174
Geografische breedte bepalen 99
Geoïde, kaart van de 111
Geologie van de maan 252
Geomagnetische breedtezones 125
– storingen 55, 100
Zuid-Atlantische – anomalie 149
Geos *1* 110
GGSE *2* en *3* 98
Glarsher 3
Glenn, John 141
Goddard Space Flight Center 121
Goldstone 192, 196, 239
– Communication Complex 229
– volgstation 107
Golflengte 159
Golven, elektromagnetische 159
Meten van de hoogte van de – 107
Goonhilly 115
Gordon 155
Graafmachine op maan 245
Granulatie 41
Gravitatie-'put' 24
Greb 105, 172
– *3* 105
Green 250
– Bank 229
Greenwich 100
Grissom 140, 148, 156
Grumman Aircraft Engineering Corporation 224
Gursky 175
Gyroskopen 88

H 1-motoren 217
Hammaguir 133
Hartman 210
Hatherington 251
Hazard 253
Heddle 174
Helium 128, 157
-kernen 169
-lijnen 174
Hitteschild 140, 141
Hohmann-ellips 26, 190
Hoogte waarop pulsen worden teruggekaatst 125
Hoogterekord 154
Houtgast 196
HRIR-Systeem 123
Huntsville 218
Huygens, Christiaan 199

Ibaraki 115
Ikaros 2
Imbrium 251
Pre- 251
Imbriumwaaier 252
Imp *1* 166, 167
– *3* 167, 169
Impuls, specifieke 217
Infrarood-detectors 97
-metingen 119
-radiometer 196
-sensors 35
Ingham 178
Injun 105
Vertraging van de – 109
Inslagkraters, fossielen van reusachtige 236
Intelsat 114
Internationale Astronomische Unie 97
Internationaal Geofysisch Jaar 6
Interplanetaire ruimte, beeld van de 166
Ion 36
Ionen om de aarde, stroom 165
Ionenmotoren 206
Ionenraketmotoren 257
Ionisatie 36
Ionosfeer 37, 123, 126, 134, 135
– om Mars 212
– om Venus 187
Peiling van de – 125
Ionosferische onregelmatigheden 134
Iszak 111

J 2-motor 221
Jacchia 54, 109
Jeans 39
Jodrell Bank 81, 229
Johannesburg 192
Jupiter, verkenning van 259
-C-raket 60
-IRMB 127
-raket 62
-Thor-type 217

Kagoshima 134
Karaganda 144
Kartografie 100
Kennedy 138
Kepler 2
Wetten van – 25
Kernexplosiekraters 237
Kernexplosies op grote hoogte 65
Kernspektrum 249
Kerosine 213
King-Hele 247
Kingsport 112
Kiruna 132
Komarov 145, 157
Kometen 21
Kommunikatiesysteem, wereldomvattend 114
Koolzuur 184, 201
Koppelen 152
Kosmos 129
– *1, 2, 4, 26, 29, 41, 42, 43* en *45* 129
– *51, 54, 55, 56, 110* en *112* 130
Kosyrev 233, 241
Krabnevel 176
Kraterkommen 242
Kraterreeksen 80
Kraters, secondaire 239
Kraus 49
Kritisch niveau 40
Kuiltjes, elliptische 240
'Kuiltjeshypothese' 82
Kuiper 185, 201, 204, 212, 242
Fotografische atlas van – 235
Kunstmaan, cirkelbaan om de aarde 22
Lanceren van de eerste Amerikaanse – 59
Levensduur van de – 47
-waarnemers 228
Kunstplaneet, eerste 68

Laboratorium voor Ruimteonderzoek 133
Laika 50
Laimana-vulkaan 242
Lambda *3* en *4* 134
Lanceerkomplex no. *34* 215
– *36* 220
– *37* 215, 219
– *39* 222, 227
Landen, met parachutes op aarde 137
– op Mars 255
– op zee 139
Landingsplaatsen verkennen 246
Landsberg 245
Langeren, Van 233
Lani Bird *1* 114
– *2* 115
Lavavelden in IJsland 240
Leighton 210
LEM (Lunar Excursion Module) 221, 224, 253
Lengte bepalen 100
Leonov 146, 148
Licht, van de nachthemel 39
Natuurlijk of ongepolariseerd – 81
Zodiakale – 153
-baken 95
-signalen als kommunikatie 152

Lick-Sterrewacht 234, 235
Limoniet 205
Link 154
Loena *5*, *6*, *7* en *8* 78
– *9* 80
– *10*, *11*, *12* en *13* 84
Loena's 255
Loenik *1* 68
– *2* 69
– *3* 73, 246
– *4* 77
Lohrmann 233
Lomonosov 76
Lorentzkracht 66
Lovell 81, 151, 156
Lucht 31
Luchtballon 3
Lunabase 251
Lunariet 251
Lunatiekromme 82
Lussac, Gay 3
Lyman-alfa, zon in het licht van 171
Lyman-alfa-lijn 170
Profiel van de – 174
Lyman-reeks 170
Lyot 81, 205

MA-*1*, -*2*, -*3* en -*4* 140
MA-*5* 141
MA-*7* en -*8* 142
MA-*9* 143
Maan 101
Achterkant van de – 73
Atlas van de – 75
Geologie van de – 252
Inwendige bouw van de – 255
Kaart van de – 70
Karstkommen – 242
Karstverschijnselen – 242
-krater 71
Landing van de eerste Rus op de – 230
Magnetisch veld van de – 84
Materialen van de – 254
Oppervlakte van de – 232
Ruimteschepen naar de – 62
Temperatuursverloop op de – 245
Tocht naar de – 28, 223
Topografische kaart van de – 235
24 uur op de – 223
Vlakten op de – 70
Vorming van de – 251
Vorming van vlakten dateren 241
Maanbasis 253
Maanbergen, ontstaan der 232
Maanbodem, draagvermogen 242
Exploratie van de – 248
Kleur van de – 244
Langere verkenning van de – 253
Temperatuursverloop van de – 81
Maangesteente 83
Kleurmeting van het – 83
Maankaart 233
Maankorst, dichtheid van de 84
Hardheid van de – 84
Maankraters 71
Relatie tussen diameter en diepte 237
Maanmobielen 253
Maaren 233, 241, 252
Mac Divitt 148
Mac Donald-kijker 235
Mac Donald Sterrewacht 201
Mädler 233
Beer en – 199
Magneetveld, metingen van het – vlak bij de maan 69
Aard- 43
Inhomogeniteit van het – 67
Variaties in het – 134
Interplanetair – 166
– in de cislunaire ruimte 70
Kosmisch – 63
Magnetische dempingswielen 106
– flux 193
Ingevroren – veldlijn 193
– stormen 43
Magnetopause 166
Magnetosfeer 44, 165
Manned Orbiting Laboratory 98
Manned Spacecraft Center 214
Marshall Space Flight Center 225
Mare, Australe 76
– Cognitum 239
– Copernicum 251
– Humboldtianum 76
– Imbrium 69, 252
– Incognito 77
– Marginis 76
– Nubium 70, 241
– Smythii 77
– Tranquillitatis 239
Mariner *1* 191
– *2* 167, 191
Baan van – 27
Metingen van – van Venus 195
– *3* 206
– *4* 90, 167, 206
Foto's van – 208
– *5* 198
Mariners, nieuwe 256
Mars 199, 255
Erosie op de planeet – 211
Frekwentie van het aantal kraters op – 211
Gefotografeerde gebieden op – 209

Mars, ionosfeer om – 212
Kleurverschijnselen op – 204
Mens naar – 256
Oppervlak van – 209
Parachutelandingen op – 256
Smelten van de poolkap – 201
Smeltzone – 201
Straal van – 212
Mars *1* 206
Marsatmosfeer 202
Marshall Space Flight Center 214, 226
Massaverhouding 14
Materiegolven 159
McCracken, formule van 177
Meerlichamenvraagstuk 28
Meertrapsraket 15
Mercurius, verkenning van 259
Meson, levensduur van een 161
Mesonen 160
Pi- 168
Mesoseleen 252
Mesosfeer 33
Meteoren 35, 135
Kunstmatige – 135
Teleskopische – 36
Meteorieten 36, 255
Meteoroïd-detector 179
Meteoroïden 21, 35, 61, 176
Aard der – 180
Dichtheid der – 180
Voltreffers van – 108
Meteoroïd-flux, metingen van de 178
Meteorologie 118
Michel, St. 134
Midas *1, 2, 3, 4* 96
Mikro-elektronika 216
Mikrometeorieten 36
Mikrometeoroïden 176
Aantal – 177
Mikro-organismen 255
Militaire instanties, rivaliteit tussen 59
Mississippi Test Facility 214
Mitra 39
Moersleutel, kostbare 156
Molniya 113
Morgenster 181
Motoren, F 1- 222
H 1- 217
J 2- 221
RL-10- 219
– op vaste brandstoffen 13
Mount Wilson 235
MR-*2* 139
MR-*4* 140

NACA 90
Nachtwolken, lichtgevende 132
NASA 90, 214, 216
Natriumwolk 68
Neptunus 260
Nerva-proefmodel 259
Nicolet 128
Nike-Apache-raketten 135
Nikolayev 144
Nilsson 177
Nimbus 72, 122
– *2* 123
Noordwijk 131
Nova 215, 256, 259
-raket 253
Nuttige lastverhouding 18

OAO *1* 175
Oberth 4
Oceanus Procellarum 70, 84, 252
OGO *1, 2* en *3* 180
OGO-satellieten 180
Omlooptijd, synodische 190
Ontsnappingsmechanisme 139
Ontsnappingssnelheid 13
Orbital Astronomical Observatory 175
Orbiter *1* 246
– *2* en *3* 247
Orbiters 245
Orbiting Geophysical Observatory 180
Oriëntatiesysteem 56
Oscar *1* 97
Oso-*1* 172
Oso-*2* en -*3* 173
Owen 212
Ozon 33
Distributie van de – 38
Ozonosfeer 33

Panoramafoto's 80
Parabolische snelheid 25
Parkeerbaan 28
Peenemünde 4, 45
Pegasus *1* en *2* 179, 221
– *3* 221
Perigeum 29
Perihelium 26
Periode, 27-daagse 168, 193
11-jarige – 43, 109
Perkenwet 26
Perseïden 180
Pic du Midi 182, 235
Pionier *1* 62, 177
– *2* en *3* 62
– *4* en *5* 63
– *6* en *7* 167, 168
Pioniers 163, 237
– van het raketonderzoek 4

Planeten 20
Planetesimalen 241
Plasma 44
Plasmawolken 43, 168
Plumeur-Bodou 115
Pluto 260
Point Arguello 91, 216
Polaire banen 91, 121
Polarisatiemetingen 203
Poolkappen 201
Poollicht 39
  Kunstmatig – 132
Poollichtbundels 39
Poolster 99
Popovich 144
Poynting-Robertson-effekt 176
Projekt Aldebaran 260
  – Anna 106
  – Antares 260
  – Apollo 156, 247
  – Argus 65
  – Ariël 130
  – Centaur 220
  – Discoverer 91
  – Echo 107
    Overzicht van het – 116
  – Elektron 164
    Overzicht van het – 36, 159
  – Explorer 127, 163
    Overzicht van het – 163
  – Gemini 145, 224
  – Jupiter 259
  – Kiwi A 258
  – Kiwi B 258
  – Loena 68
    Overzicht van het – 85
  – Mercury 139, 224
  – Midas 96
  – Mol 98, 157
  – Moonwatch 227
  – oso 170
  – Pageos 110
  – Pegasus 178
  – Proton 169
    Overzicht van het – 164
  – Ranger 237
  – Relay 111
  – Samos 97
  – San Marco 132
  – Sert 206
  – Snap 259
  – Spoetnik 45
    Overzicht van het – 58
  – Stratolab. 185
  – Stratoskoop 202
  – Tiros 118
  – Transit 101
    Overzicht van het – 116
Projekt Vanguard 6, 59, 61
    Overzicht van het – 67
  – Vela 97
  – Voyager 255
  – Westford 96
  – Zond 78
Proteroseleen 251
Protonosfeer 128
Protuberansen 42
Puerto Rico 183

Rabe 196
Radiokommunikatie 111
Radiometer 194
Radioruis 103
Radiostoten, type-III 172
Radiostraling van de zon, 10,7 cm 54
Raisting 115
Raket, start van 213
Raketten, gegevens van een aantal 18
  Uitlaatvlammen van opstijgende – ontdekken 96
Randverheldering 189
Randverzwakking 41, 189, 196
Ranger *1*, *2*, *3*, *4*, *5*, en *6* 238
  – *7* 239
  – *8* en *9* 240
Rangers 62, 225
Rayleigh 35
Reaktiemotor 9
Redstone 139
Re-entry probleem 87
Reflekterende mat 254
Reizen, naar andere sterren 260
  – naar de grenzen van ons zonnestelsel 260
Rekenmachines 29
Relay *1* 111
  – *2* 112
Remraketten 55
Rendez-vous 151
Rendez-vous-operaties 147
Resistojet 257
Retroraketten 87
Riccioli 233
Rillen 240
Röntgenbronnen 175
Röntgensterren 176
Röntgenstraling, van de rustige zon 171
  Secundaire – 95
  – van zeer korte golflengte 172
  – van de zon 61
Ross 182, 185
Rotatie, gebonden 182
  – vertragen 104
Rotatie-as 200
Rotatieduur 183

Rotsblokken op maan 242, 244
Rozier, De 3
Ruimte, overeenkomsten over de 230
Ruimtelaboratorium, bemand 98
Ruimtepak 143
Ruimtestation 18
Ruimtetochten, overzicht der bemande 158
Ruimteverontreiniging 97
Ruimtewandelingen 146, 148, 153, 155, 157

S-*4B* 98
S *51* 130
S-*66*-satelliet 127
SA-*5* 219
SA-*6*, -*7* en -*8* 221
SA-*9*-vlucht 179
Sagan 187, 205
Salto di Quirra 131
Sänger 261
San Marco *1* en *2* 133
Satelliet, frekwentieverandering van het radiosignaal van een – 103
  Methoden om een – te stabiliseren 89
  Snelheid van de elektronen om een – 127
  Vertraging van de – 50
  Wrijvingskracht die op een – werkt 46
Satellieten, met flitslichten 110
  Overzicht van de kommunikatie– 116
  Overzicht der meteorologische – 136
  – voor positiebepaling 110
  Synchrone – 113
Saturnus 215, 257
  – *1* 178, 217
    Proefvluchten met de – raket (eerste, tweede, derde, vierde) 219
  – *1B* 221, 225
  – *5* 222, 225, 255
  -raket 156
Schiaparelli 203
Schirra 142, 151
Schmidt, Julius 234
Schokfront, magnetohydrodynamisch 167
Schokgolven, hydromagnetische 165
Schuilhut 253
Schijngestalten 181
Science Aid Act 90
Scintillatietellers 60
Score 86
Scorpius *X 1* 175
Scott 152
Scout-raket 127, 258
Sedov 56
Seismometers 255
Seizoenvariaties in de atmosferische dichtheid 37
Selenofysische traverses 251
Selenologie 232
Sert *1* 258
Shaler 73
Shoemaker 239
Sigma *7* 142
Sinton 187
Skylark 131
Slowey 109
Snap *3* 105, 259
  – *10A* 260
Sojoez *1*, ramp met 157
Somnium 2
Sovjetgebergte 77
Space Flight Operation Facility 230
Spektrum 34
  Ultraviolet – 155, 174
Spoelen, elektromagnetische 121
Spoetnik *1* 45, 125
  – *2* 50
    Einde van – 52
  – *3* 53, 127
  – *4* 55, 87
  – *5* 56
  – *5* en *7* 56
  – *8* 56, 57
  – *9* en *10* 57
Spoetniks 227
Spookkraters 244, 252
Stabilisatie om een der assen 88
Stabilisatieprobleem 87
Stafford 151, 152
Stalen toren 215
Stenen 244
Stephanion 134
Steriliseren 213
Sternberg Astronomisch Instituut 80
Sterren overdag zichtbaar 154
Sterretjes, lichtende 142
Sterrewacht, Lick- 234, 235
  Mac Donald – 201
  – te Nice 133
Stikstof 157
Stofdeeltjes 197
  Grootte der – 178
Stoney 39, 128
Storingsgebieden 42
Störmer 43
Straalelement 240
Straalmotor 10
Stralenstelsel 72
Straling, gamma- 84, 168
    Metingen van de – 249
  Korpuskulaire – 42, 160
  Kosmische – 5, 160, 169, 193
    Primaire – 160

Straling van de zon 168, 193
Röntgen- van de rustige zon 171
Secundaire – 95
– van zeer korte golflengte 172
– van de zon 61
Stralingsdruk 176
Stralingsgordels 63
Stralingsmetingen 60
Stratosfeer 33
Strelka 56
Strong 185
Stuwkracht 11, 15
Sublimaat, wit 242
Sucksdorf 197
Super Schmidt meteoorkamera's 228
Superwolkenkrabber 227
Surveyor 221
– *1* 243
– *2* 244
– *3* 245
Surveyors 255
Synchrone satellieten 113
Syncom *1* 112
– *2* 113

Teleoseleen 252
Telstar *1* 111
Teresjkova, Valentina 145
Terugkeer, veilige 139
Tetrahedron Research Satellite 97
Thallasoïden 80
Thor 62, 92
Thor-Able-raket 118
Thor IRBM 102
Thor-raket 109
Tikhov 205
Tiros *1* 118
– *2*, *3* en *4* 119
– *5*, *6*, *7* en *8* 120
– *9* 121, 122
Titan *2* 147
– *3* 215
– *3C* 98
Titov 138
Traac 106
Transit *1B* 101
– *2A* 104, 172
– *3A* en *3B* 105
– *4A* 105, 260
Tritium (H_3) 96
Tropopause 33
Troposfeer 32, 117
Turbulentie 37, 135
Tycho 72, 239, 242, 252
Tyfoon 119
Type-III-radiostoten 172

UK *1* 130
Universiteit, van Arizona 235
– van Manchester 71, 235
Uranus 260
Urey 185
Ursiden 207

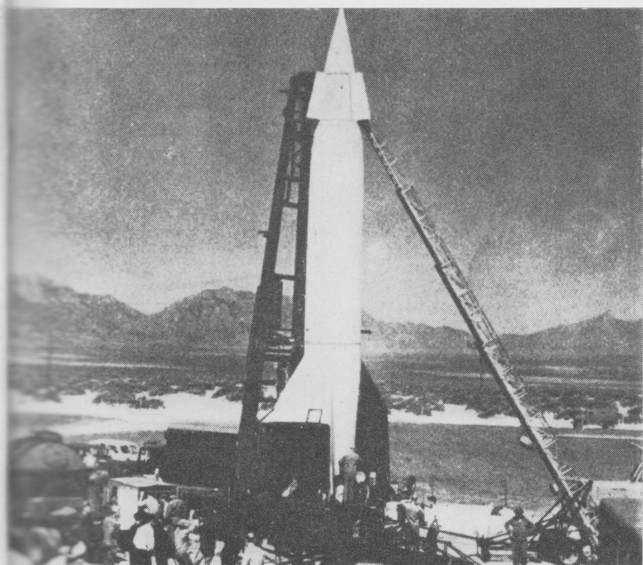
V2-raketten 37
V2's 216
V2 Upper Atmosphere Panel 5
V2-vluchten 161
Vandenberg 90, 216
Vanguard 62
– *1* 54, 61, 101
– *2* en *3* 61
Veis 111
Veldlijn, ingevroren magnetische 193
Venus 56, 167, 181
-atmosfeer 184, 189
Foto's van – in violet licht 182
Ionosfeermodel van – 186
-kapsule 57
Magnetisch veld van – 196
Massa van – 196
Metingen van de Mariner *2* van – 195
Oppervlaktedetails op – 182
Polarisatiegraad van – 184
Spektrum van – 184
Temperatuursmetingen van – 186
– *2* en *3* 197
– *4* 198
Verne, Jules 261
Véronique 133
Verstrooiing 35
Vertraging van de satelliet 50
Viking 5
Vishniac 255
Vlamdeflector 215
'Vliegenvanger' 256
Volgsysteem van de kunstmanen 229
Voortstuwing, elektromagnetische 257
Elektrostatische – 257
Elektrotermische – 257
– van raketten, elektrische 257
Kernenergie voor – 258
Voskhod *1* 145
– *2* 146
Vostok *1* 138
– *3* en *4* 144
– *5* en *6* 145
Vredefortring 236
Vrije weglengte 40
Vulkanische processen 233
Vuurbol 36
Vuurpijl, principe van de 9

Wallops Eiland 131, 133, 135, 216, 258
Walvlakten 71
War Corporal 5
Waterdamp 185, 202
Waterdruppeltjes 185
Waterstof 220
Weer 117
Wegener, theorie van 101
Werkgroep Meteoren van de Nederlandse Vereniging voor Weer- en Sterrekunde 228
Wet, aktie is gelijk aan reaktie 9
  Harmonische – 26
  – van Newton 23
  Perken- 26
Whistlers 128
White 148, 150
White Sand Missile Range 256
White Sands Proving Grounds 5, 135, 216, 256
Wilkins en Moore 73
'Wolfskuil' 255
Wolken waarnemen 61
Wolkenfoto's 119
Wolkensoorten 203
Woomera 132
  – Village 192
World Meteorological Organisation 121
Wrijvingskracht 87

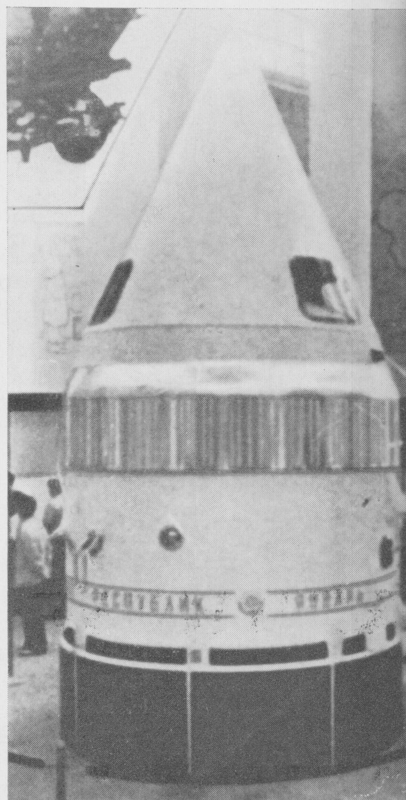
Xenonflitsers 106

Yegorov 145
Yerkes 235
Young 148, 154

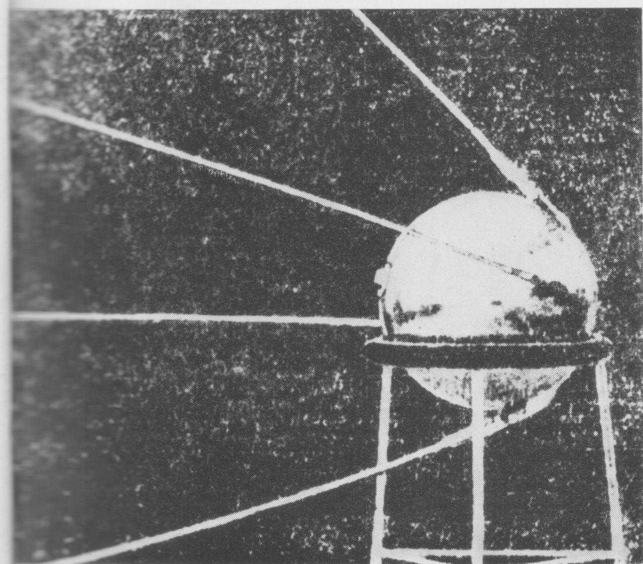
Zee, der Dromen 79
  – van Moskou 76
Zeventrapsraket 135
Zon, bouw 20, 40
  Korpuskula van de – 197
  Kosmische straling van de – 168, 193
  – in het licht van Lyman-alfa 171
  Röntgenfoto van de – 171
  Röntgenstraling van de – 61
  Röntgenstraling van de rustige – 171
Zond *1* 197
  – *2* 206
  – *3* 78
Zonnecellen 149
Zonnekonstante 41
Zonneplasma 193
Zonnesensor 89
Zonnespektrum, kontinu 170
Zonnevlammen 42, 55, 186, 172
Zonnevlekken 41
Zonnewind 165, 193
  Flux – 166
  Snelheid – 166
  Snelle protonen van – 168
Zuurstof 156
Zwaartekrachtsveld 24
  Onregelmatigheden in het – 100

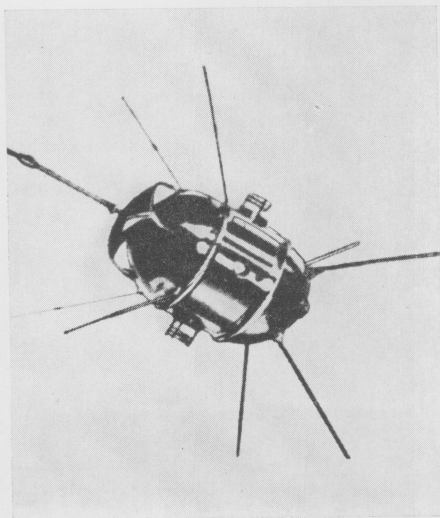




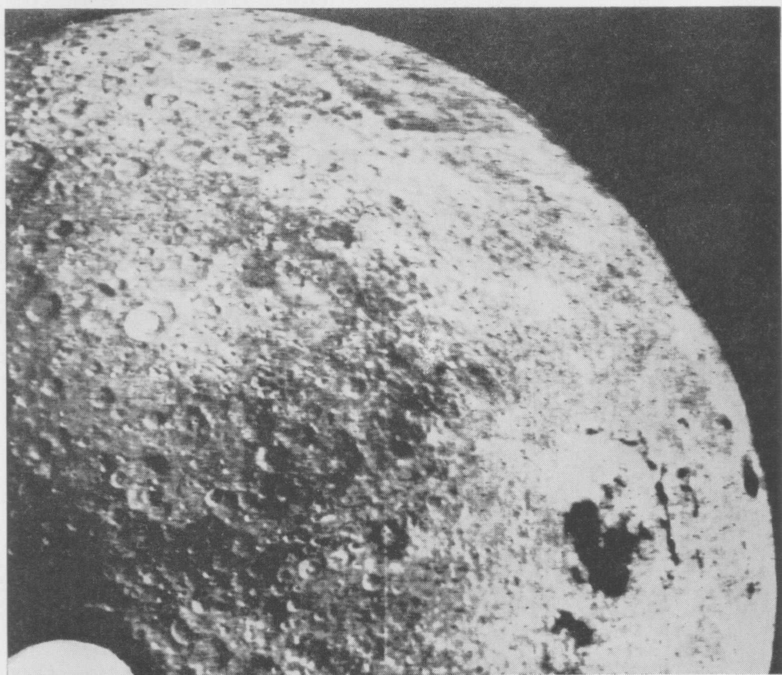


I *Links boven:* V2 startklaar te White Sands Proving Grounds, 30 juli 1946. *Rechts boven:* de raket van Spoetnik 3 doorkruist het sterrenbeeld de Lier. *Links onder:* Spoetnik 1, de eerste kunstmaan. *Rechts onder:* Loenik 1.

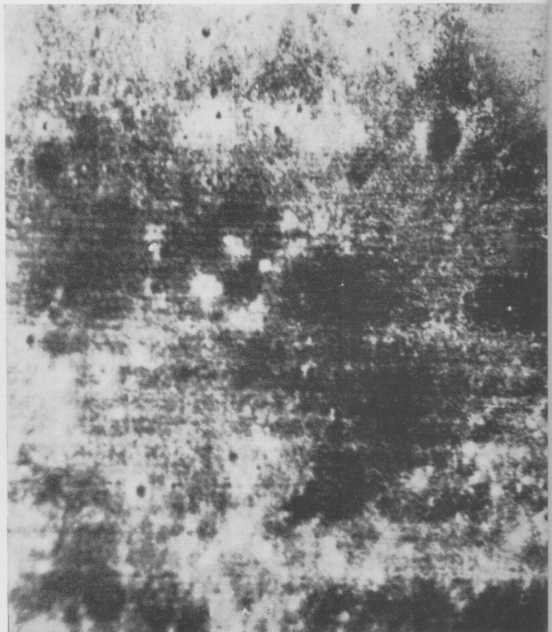


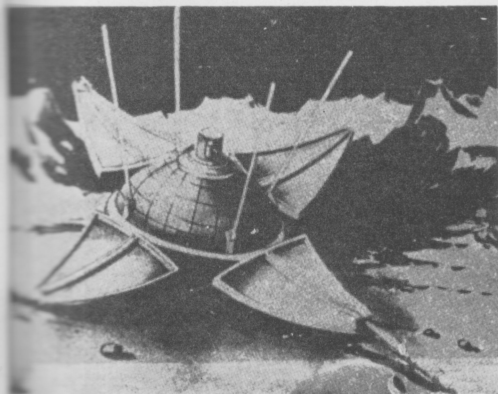


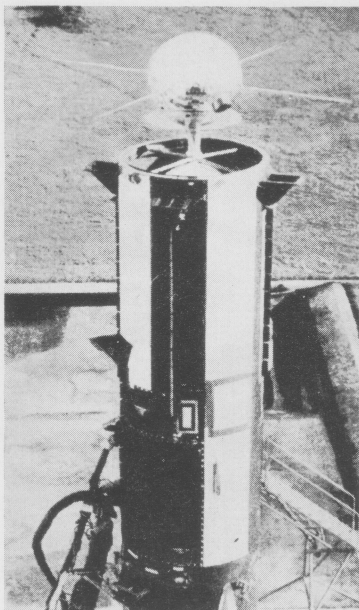
II *Boven:* achterkant van de maan gefotografeerd door Loenik 3. 1 = M. Muscoviense, 2 = Sinus Astronauticum, 4 = Tsolkovsky, 5 = Lomonosov, 6 = Joliot Curie, 7 = Sovjet Bergen, 8 = M. Ingenii, 9 = M. Humboldtianum, 10 = M. Crisium, 11 = M. Marginis, 12 = M. Undarum, 13 = M. Smythii, 14 = M. Foecunditatis, 15 = M. Australe. *Rechts:* een der Kosmos-satellieten.

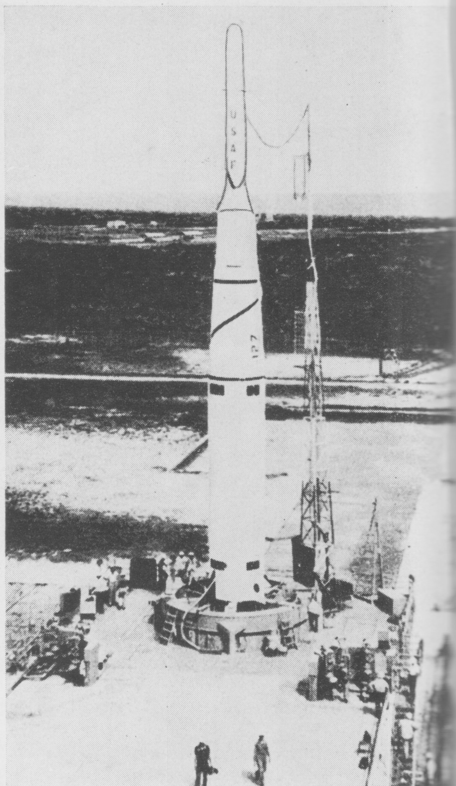


III *Boven:* maanopname van de Zond 3, 20 juli 1965; de donkere vlek rechts is M. Orientalis. *Links onder:* de Loena 9 op de maan. *Rechts onder:* de maan gezien vanuit Loena 12.

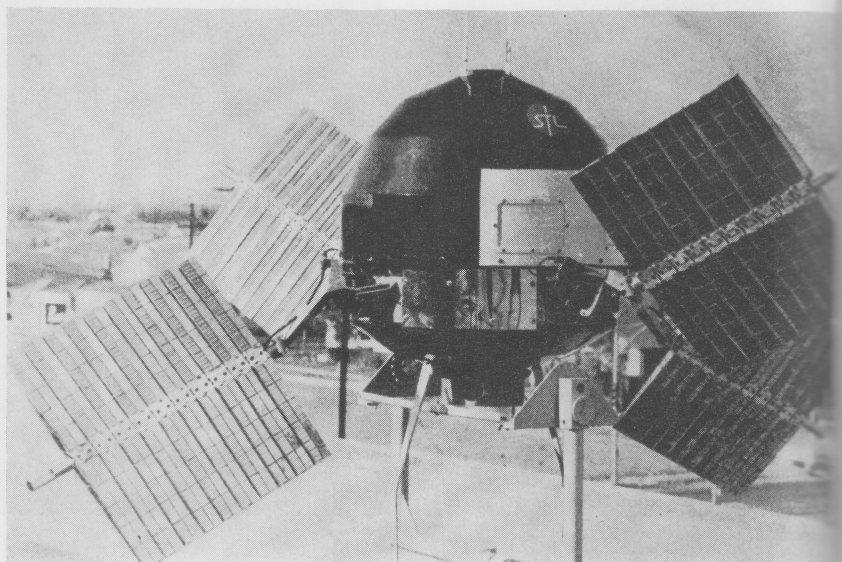


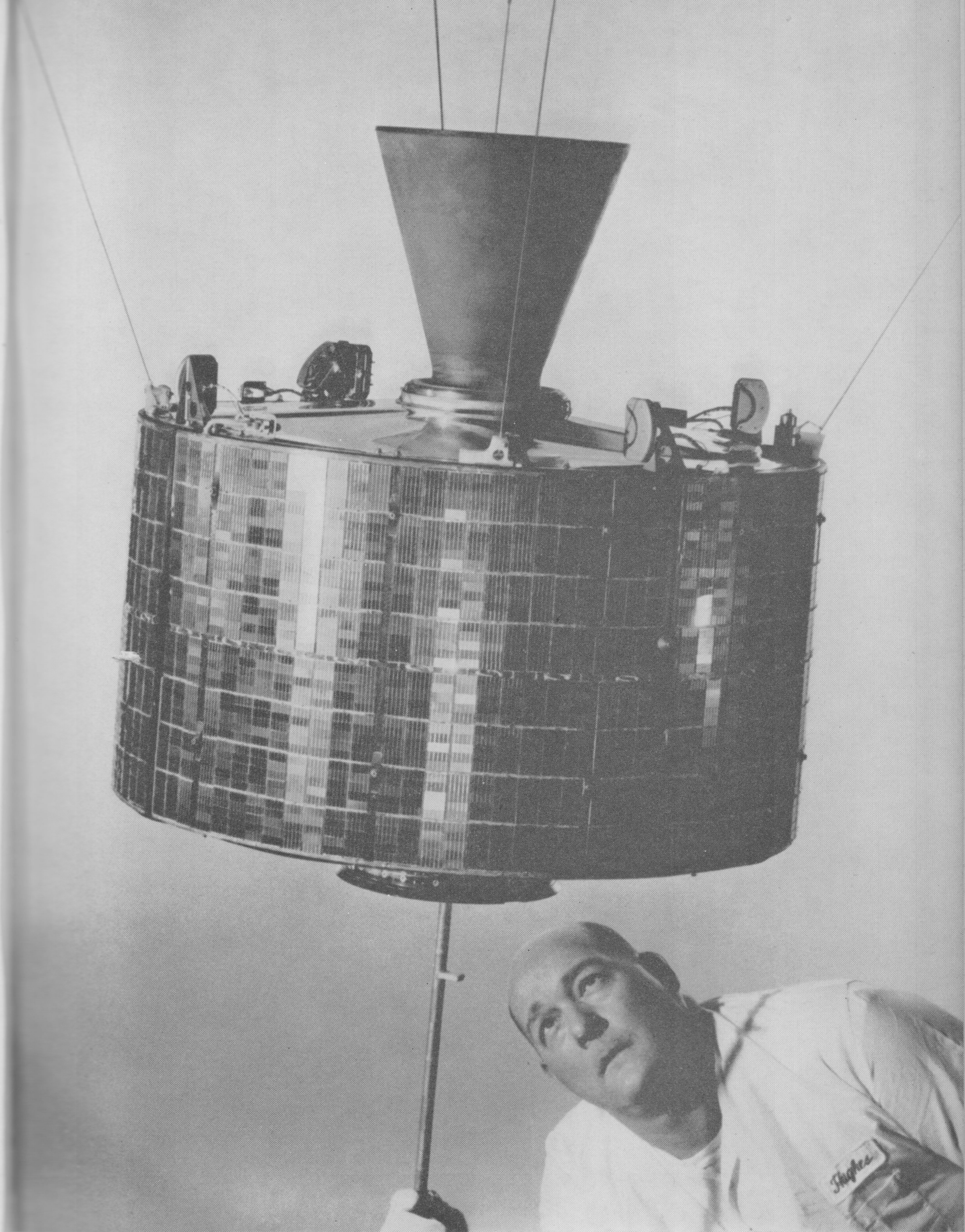




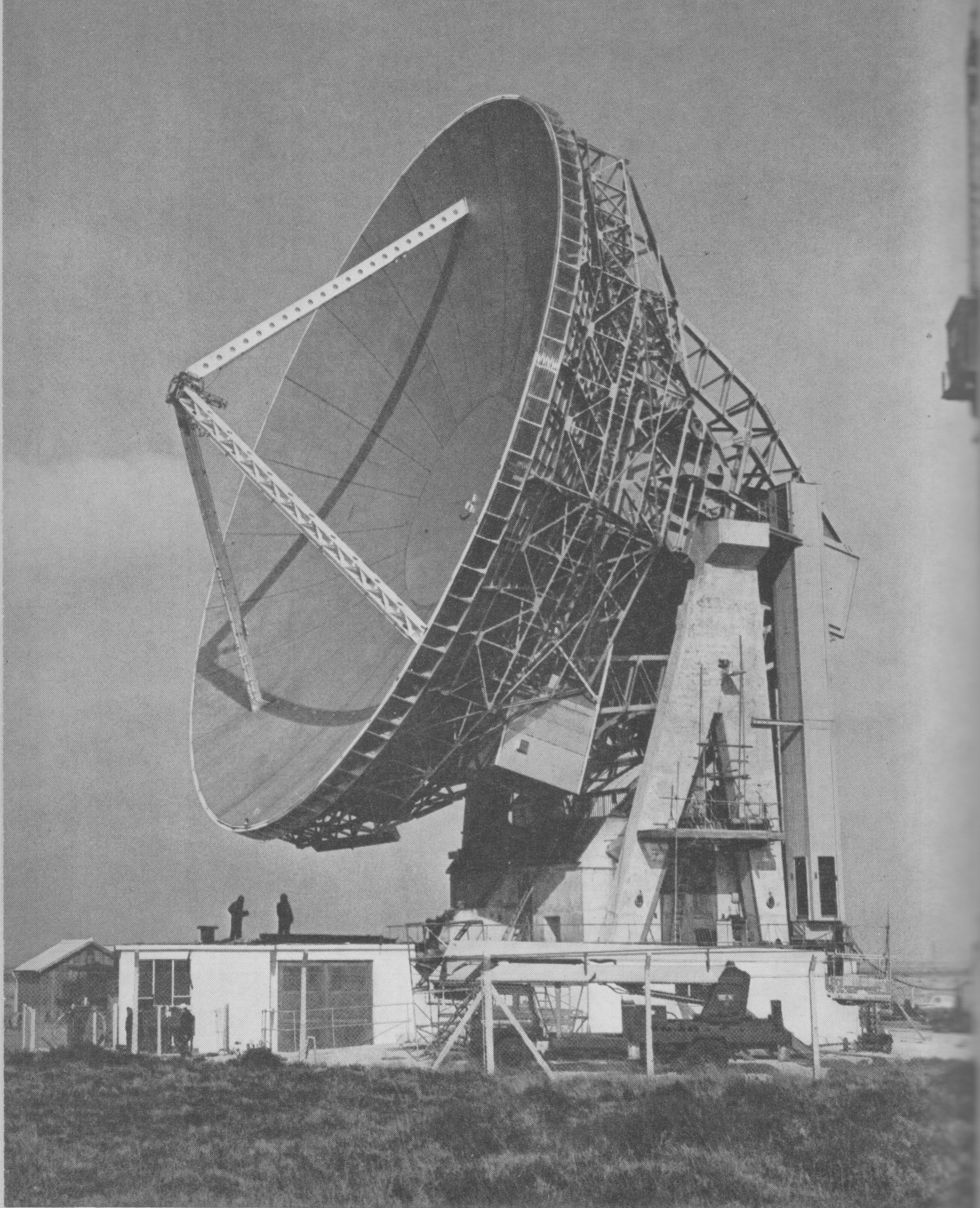


IV *Rechts boven:* Vanguard 2 voor het plaatsen van de neuskegel. *Links daarvan:* Pionier 1 startklaar. *Onder:* Explorer 6 met zijn vier wieken met zonnecellen.

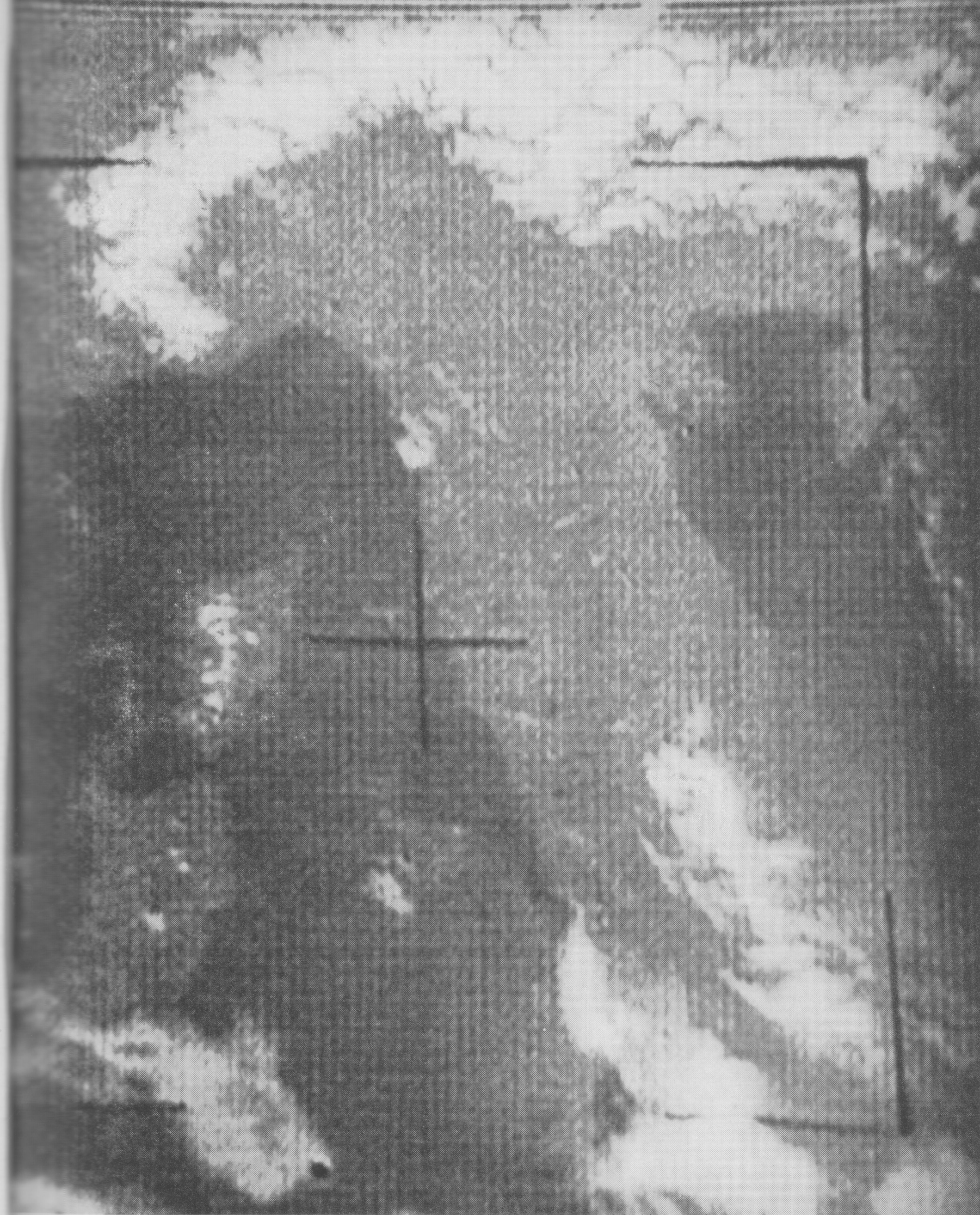




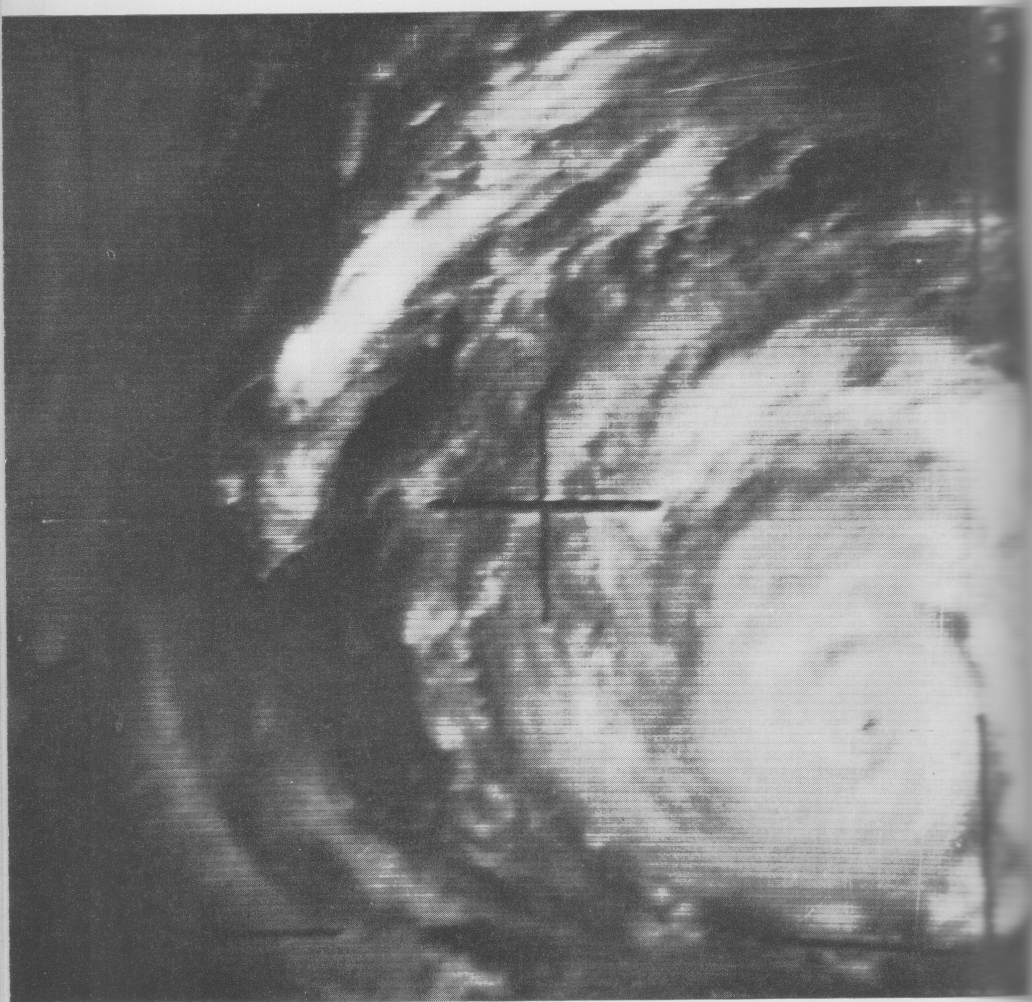
V De kommunikatiesatelliet Syncom 3.



VI Het radiostation *Goonhilly Downs* in Engeland, bestemd voor de verbindingen met de kommunikatiesatellieten.



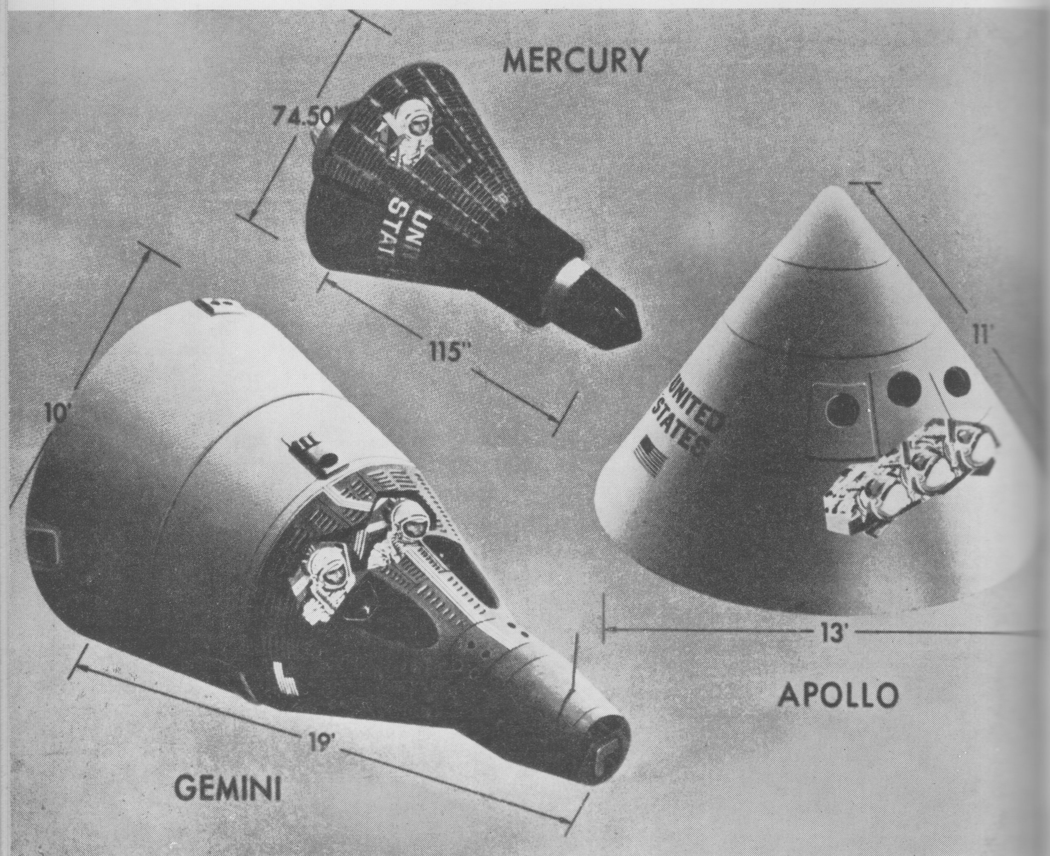
VII Italië en omgeving en de besneeuwde Alpen, gefotografeerd vanuit de Tiros 4 op 25 april 1962.



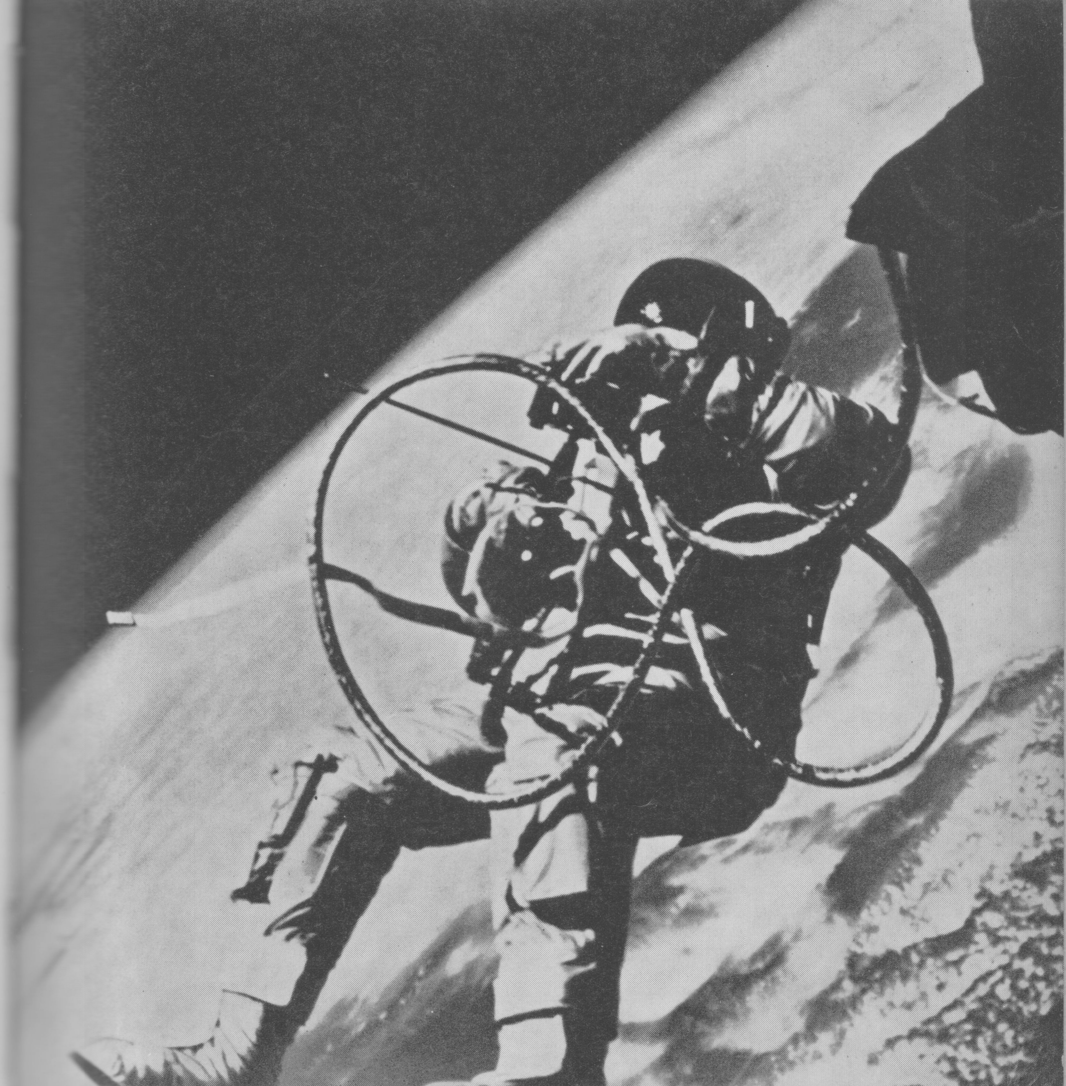
VIII De Tyfoon Ruth, ten zuidoosten van Tokio, op 18 augustus 1962 opgenomen door Tiros 5.



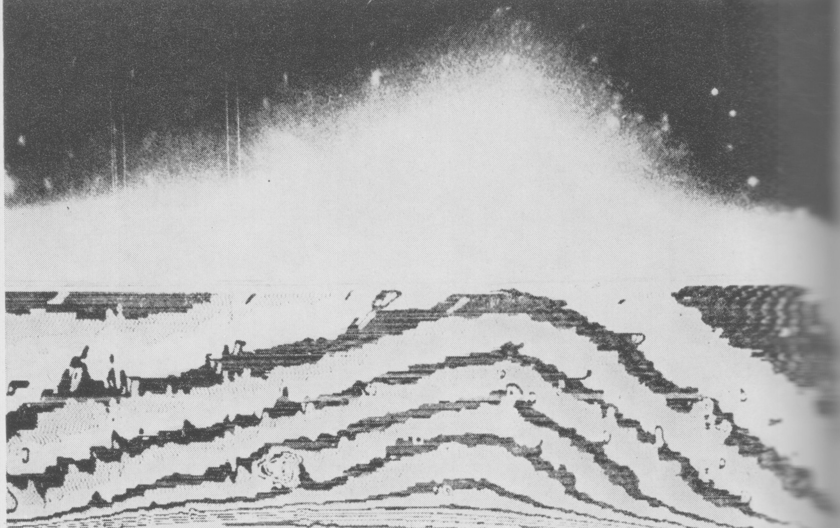
IX *Boven:* een door het uitwerpen van natrium kunstmatig vervaardigd meteoorspoor tijdens de Nederlandse experimenten in Suriname. *Links:* Friedman c.s. maakten met een vlucht van een Aerobee op 19 april 1960 de eerste röntgenfoto van de zon.



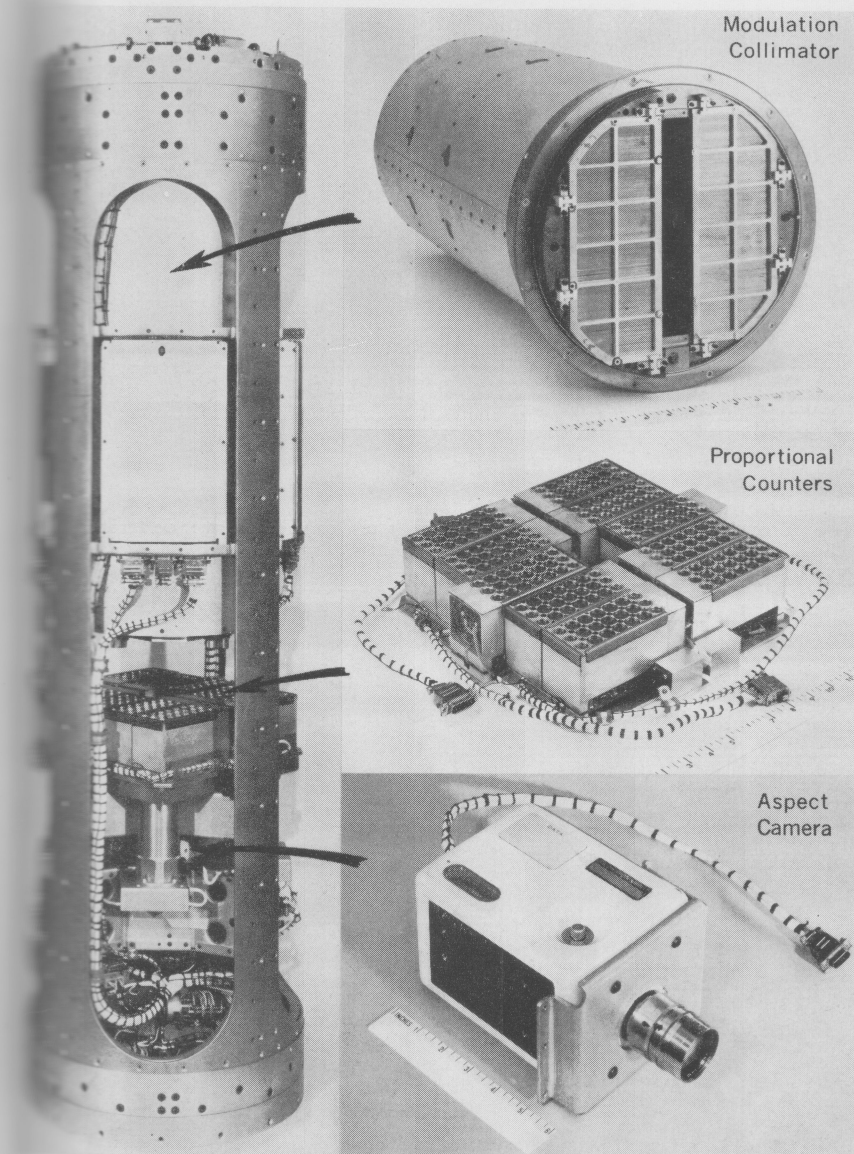
X De ruimteschepen Mercury, Gemini en Apollo met elkaar vergeleken; 1″ = 2,5 cm; 1′ = 30 cm.



XI Een wandeling in de ruimte door astronaut Edward H. White, door een kabel verbonden met de Gemini 4.



XII *Boven:* het zodiakale licht gefotografeerd vanuit Gemini 9 met daaronder de contourlijnen van het negatief. Links de heldere ster Sirius, links van het midden Procyon; zuid is boven. *Onder:* Gemini 7 gezien vanuit Gemini 6 bij hun rendez-vous.

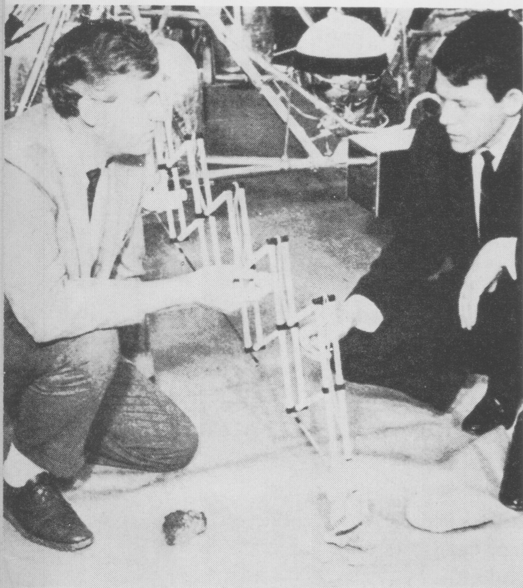


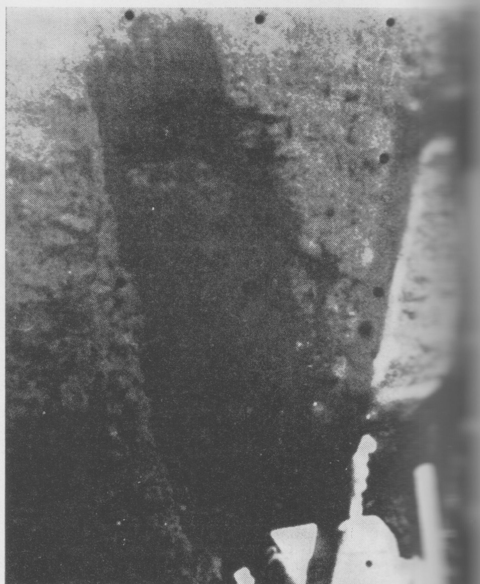
XIII De instrumenten in de raket, die de röntgenster Scorpius X 1 identificeerde. Boven het dradensysteem, in het midden de tellers, daaronder de kamera, die op 16 mm film de ster fotografeerde.



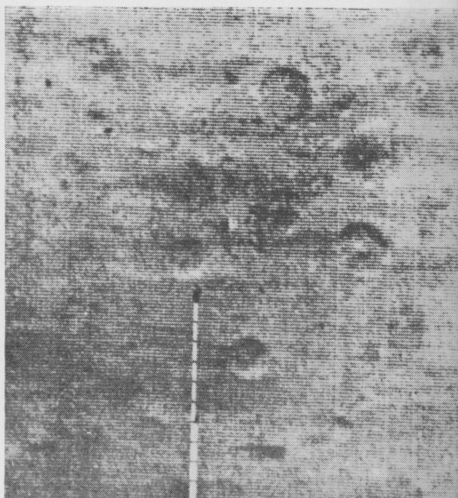


XIV *Links boven:* Venus (opname New Mexico State Obs.). *Rechts boven:* de aardbol gezien vanuit de eerste ATS-satelliet met veel wolken boven de Stille Oceaan. *Links onder:* de graafmachine van de Surveyor 3 wordt gekontroleerd. *Rechts onder:* de schop voltooit een ca. 10 cm diepe geul, gegraven in de maanbodem op 23 april 1967. In de geul ligt een steen (tussen een viertal oriëntatiepunten).

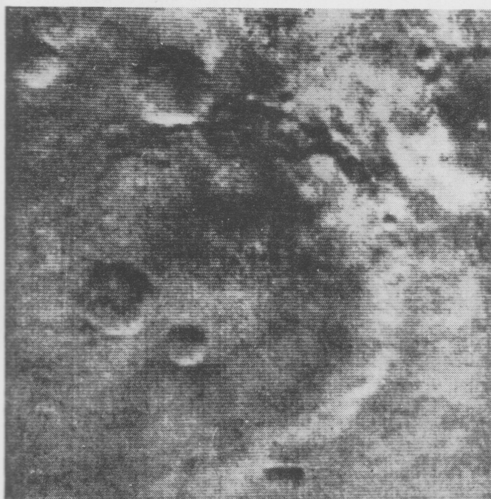


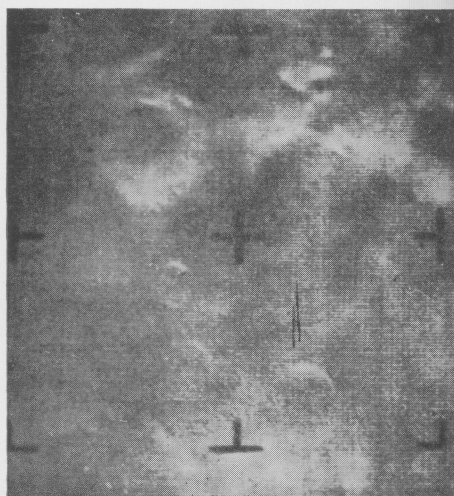


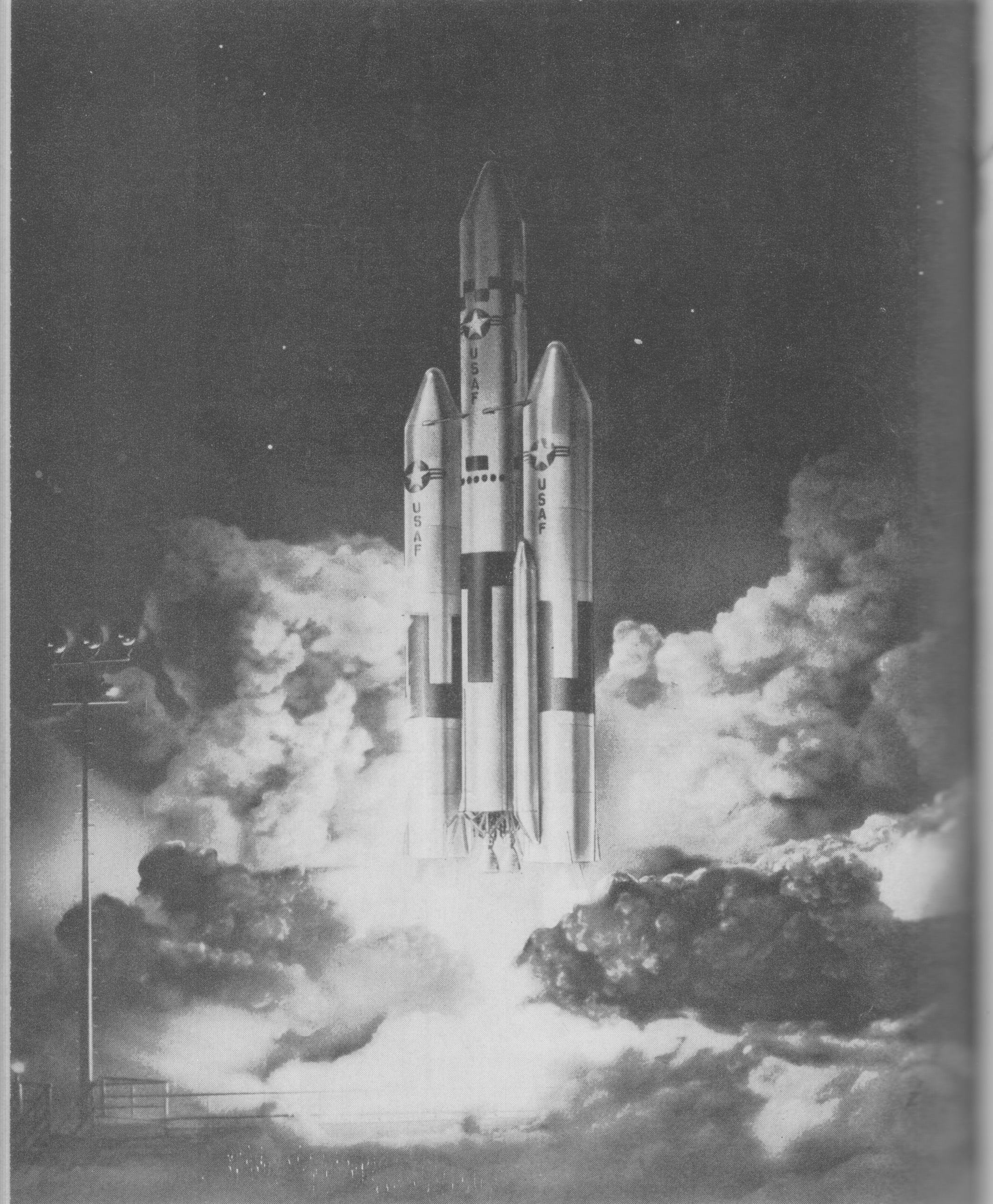




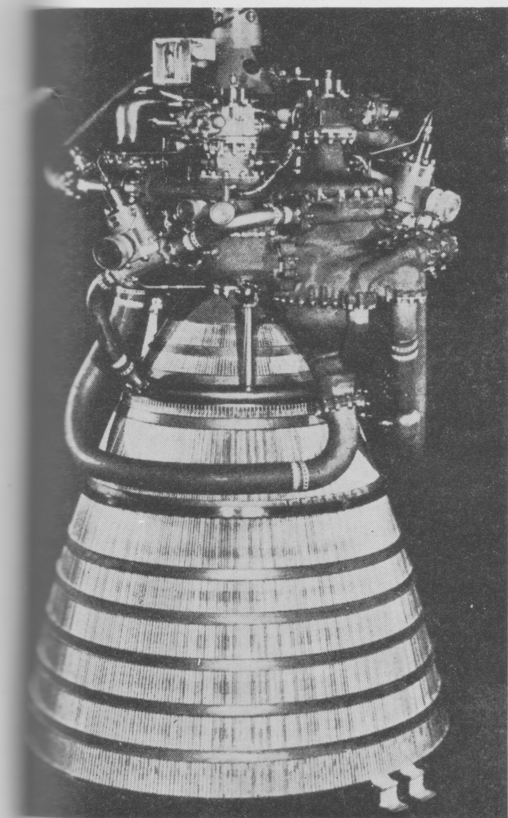
XV Marsopnamen van de Mariner 4. *Links boven:* no. 1 met de rand van de planeet. *Rechts boven:* no. 8 vertoont de eerste kraters ondanks een storing van het beeld. *Rechts onder:* no. 14 met besneeuwde bergen. *Links onder:* de beste opname was no. 11 met verscheidene grote kraters.

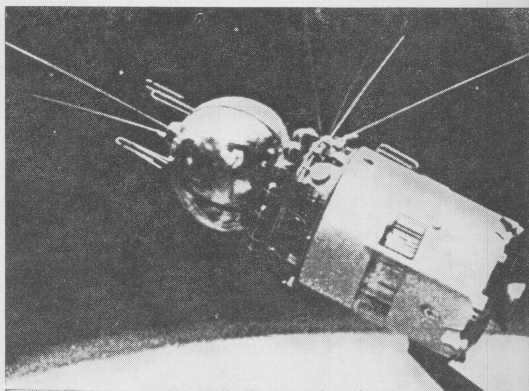


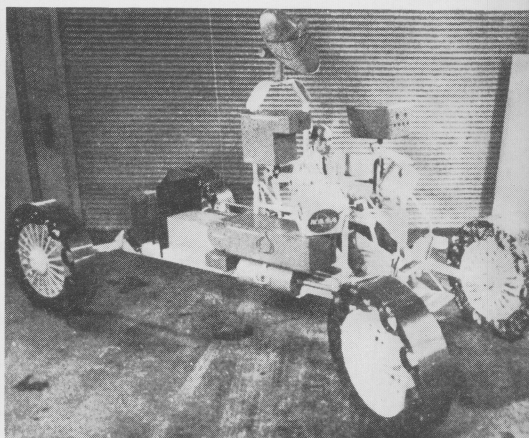


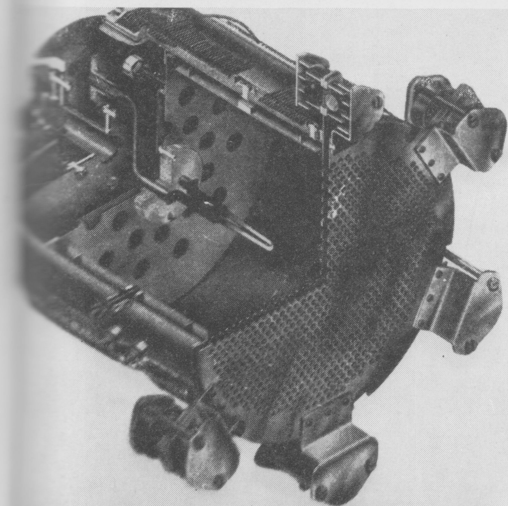


XVI Een Titan 3 is bij zijn lancering voorzien van extra aandrijfraketten aan weerskanten, die later afvallen als de raket zelf ontbrandt.

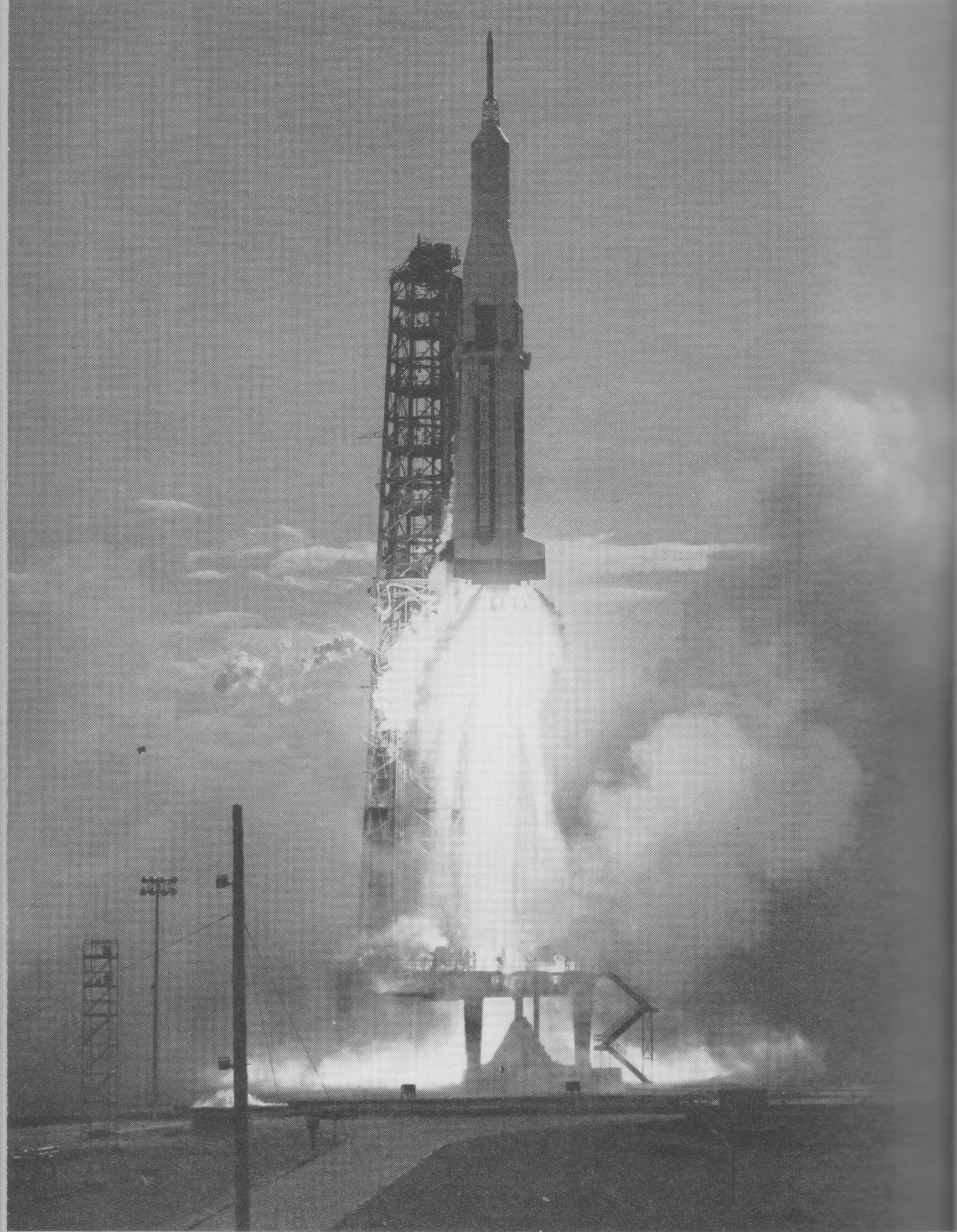




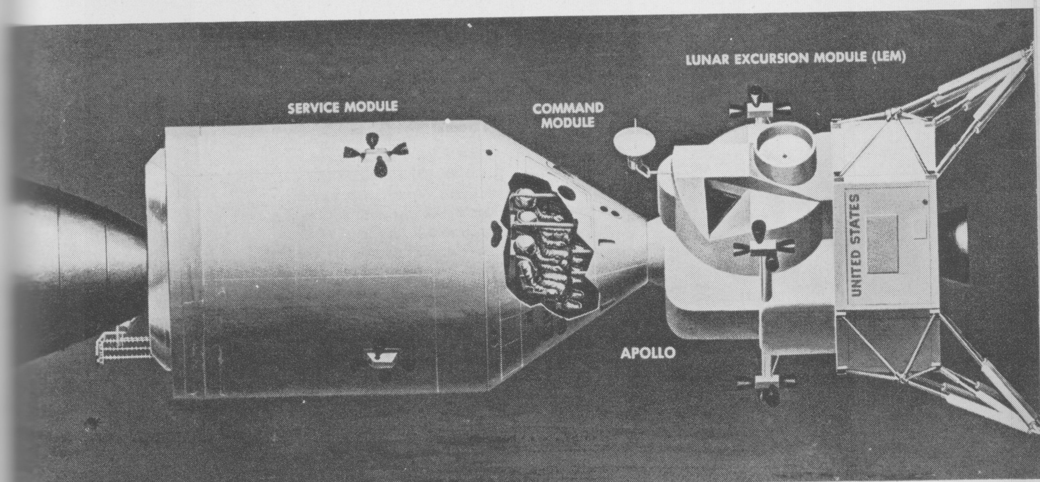


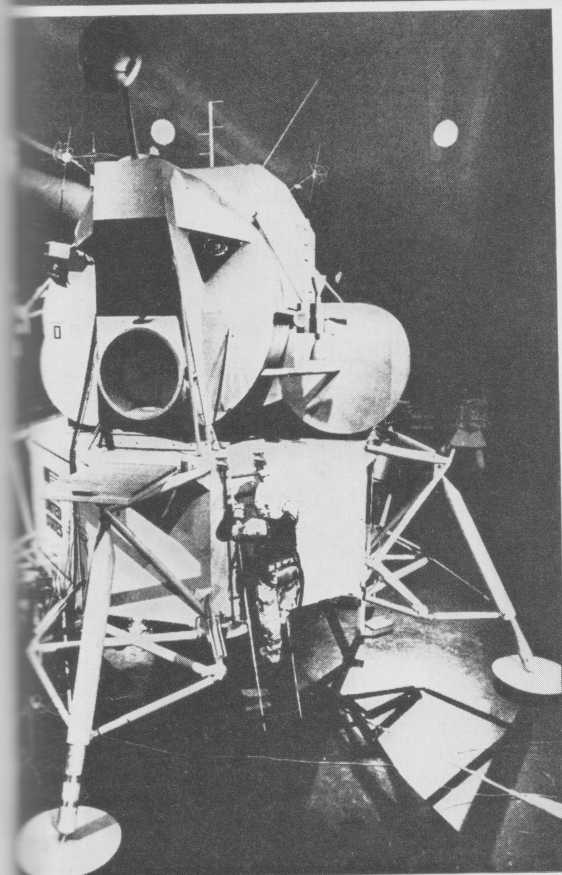


XVII *Links boven:* de RL 10 motor een nieuwe stap vooruit voor de reis naar de maan. *Rechts boven:* de Vostok 4. *Daaronder:* een prototype van een door de Bendix Corp. in Ann Arbor (USA) ontworpen maanmobiel voor vervoer op de maan. *Links onder:* een ionenmotor, ontworpen door Kaufman.

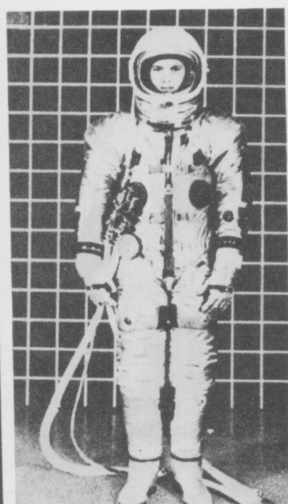


XVIII De start van de Saturnus SA-6 vlucht, een der proefnemingen met de Saturnus-raketten.



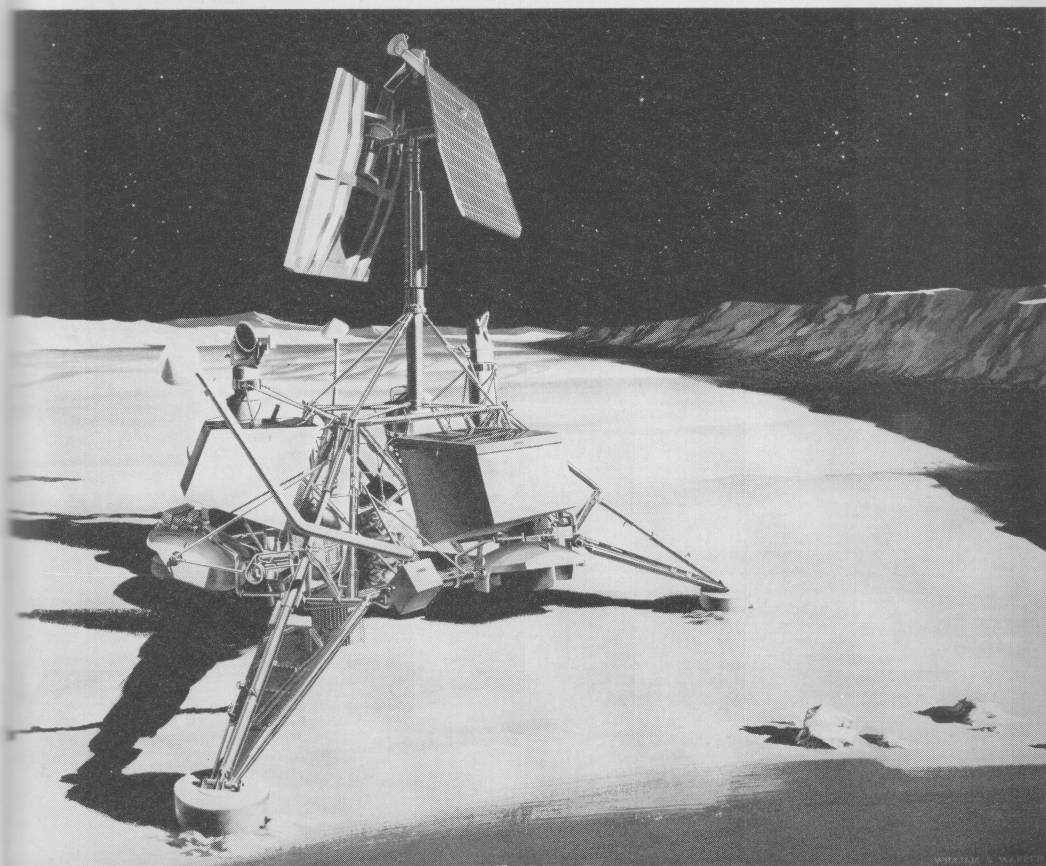


XIX *Boven:* het ontwerpmodel van het Amerikaanse maanschip bestaat uit drie delen. *Links:* het proefmodel van de Lem. *Onder:* ruimtepak voor de Apollo-bemanning.

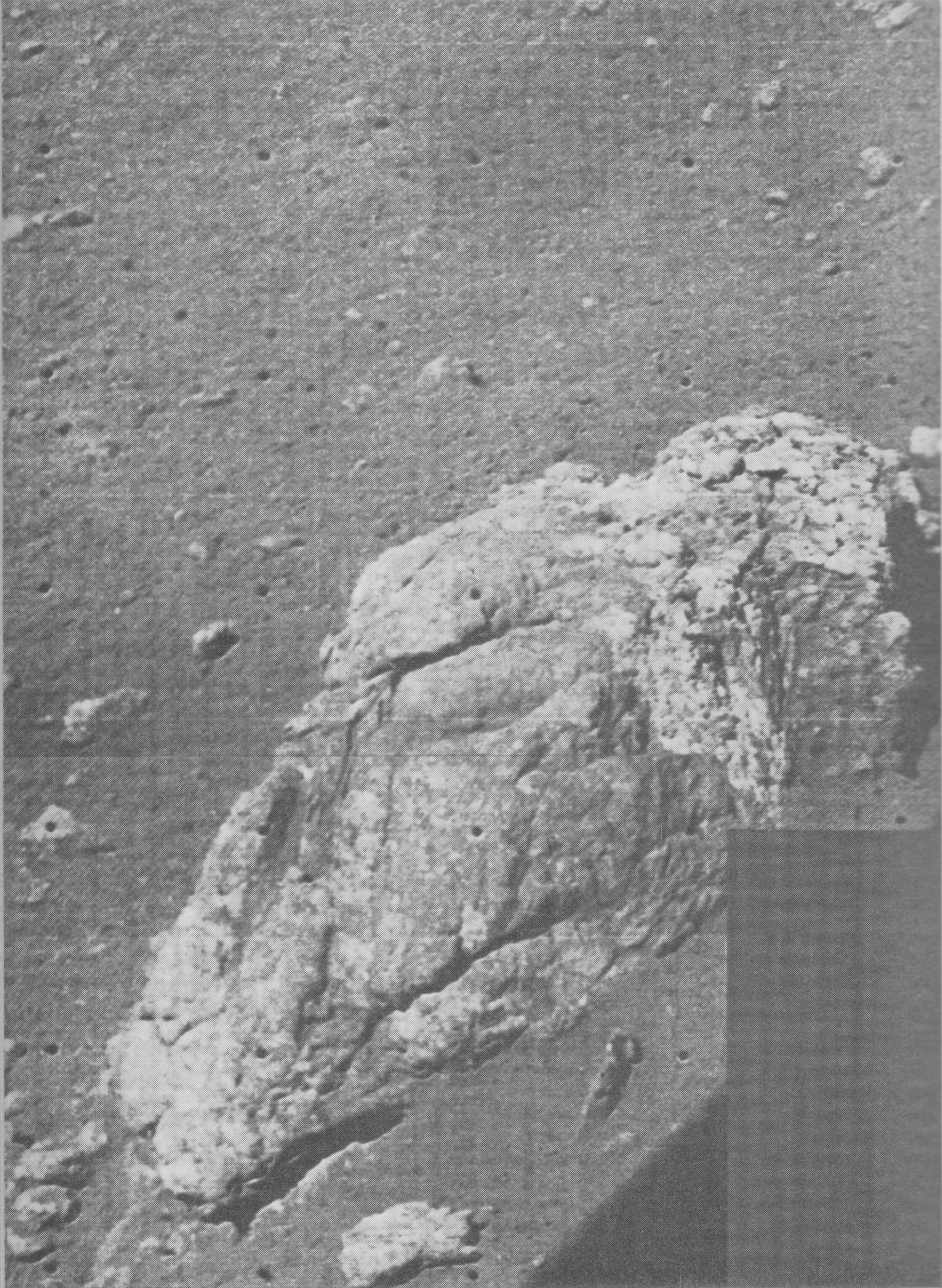




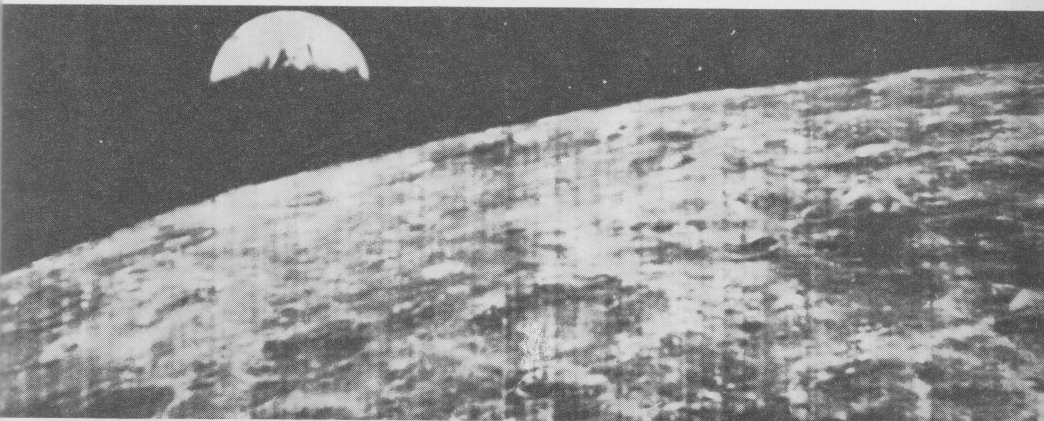
XX *Boven:* opname van Alphonsus met zijn witte centraalberg door de Ranger 9, gemaakt vanaf 160 km hoogte boven de maan. Het witte cirkeltje is de plaats waar de Ranger insloeg op 24 maart 1965. *Rechts:* vanaf 7200 m hoogte ziet men duidelijk de karstachtige bodem (opname van Ranger 9).



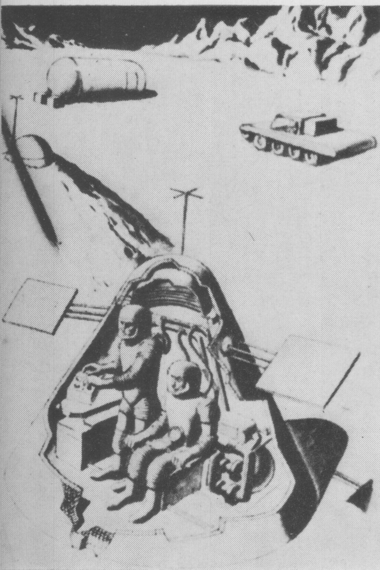
XXI Zo stelt men zich voor dat de Surveyors op de maan staan.

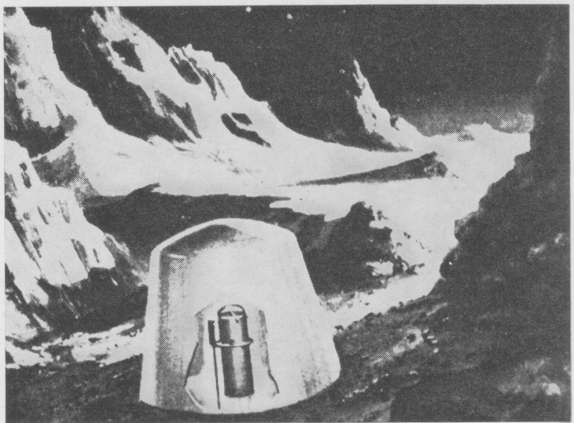


XXII Een stuk maanrots van enkele tientallen centimeters, geregistreerd door Surveyor 1.



XXIII Orbiter 1 fotografeerde de aardbol gezien van boven de maan (*boven*). Orbiter 2 zag het berglandschap van de krater Copernicus (*onder*) vanaf 45 km hoogte. Aan de horizon de 900 m hoge berg Gay Lussac.





XXIV *Boven:* een denkbeeldig basiskamp voor een grotere maanexpeditie. *Links onder:* een voorlopige schuilhut op de maan. *Rechts onder:* de 'wolfskuil' zal Mars aftasten.

DR. J. VAN DIGGELEN

WEGWIJZER IN DE KOSMOS

Nadat Dr. J. van Diggelen voor de amateur-astronoom in *Zelf sterren kijken* (2e druk 1965) een praktische handleiding heeft gegeven voor het zelf actief astronomie bedrijven, geeft hij in dit nieuwe boek een grote hoeveelheid wetenschappelijke informatie, die de wat meer gevorderde amateur-astronoom tot verdieping en uitbreiding van zijn onderzoekingen zal prikkelen.

Na een eerste hoofdstuk over de aarde en onze dampkring, komen achtereenvolgens aan de orde de zon, de andere planeten van ons zonnestelsel, de manen, meteoren, kometen, het ontstaan van ons zonnestelsel, ons sterstelsel, alsmede de onderzoekingen en theorieën over de bouw van de grenzen van ons heelal.

Voor hen die prijs stellen op een exacte formulering van een aantal theorieën heeft de auteur de mathematische formulering gegeven, waarin die – naar zijn zeggen – eerst kort en duidelijk in ware schoonheid volledig uitkomen. Met het oog op de ruimtevaart kreeg het planetenstelsel extra aandacht.

Zo is dit boek een waardevolle bron van kennis geworden voor al die amateur-astronomen die meer willen weten dan zij in de wat populairdere uitgaven kunnen vinden.

'Diegenen, die belangstelling hebben voor astronomie, en enige kennis bezitten van de belangrijkste begrippen van de wiskunde en de natuurkunde, zullen hier een schat aan wetenswaardigheden in vinden, waarmee zij hun kennis kunnen uitbreiden.'

Hemel en Dampkring

Verkrijgbaar bij de boekhandel